

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INVESTIGACION Y DOCENCIA EN MEDIO AMBIENTE
PIDMA-UNI



EL COMPOSTADO MANUAL AERÓBICO DE DESECHOS
MUNICIPALES CON PULPA DE CAFÉ
JINOTEPE, NICARAGUA, 1996-1997

Tesis para optar al grado de:

MAESTRO EN INGENIERIA AMBIENTAL

SANDRA MORENO AYESTAS

Clase 1994-1995

Tutora: **Dra. Gabriele Foidl**

MANAGUA, NICARAGUA
Julio, 2002

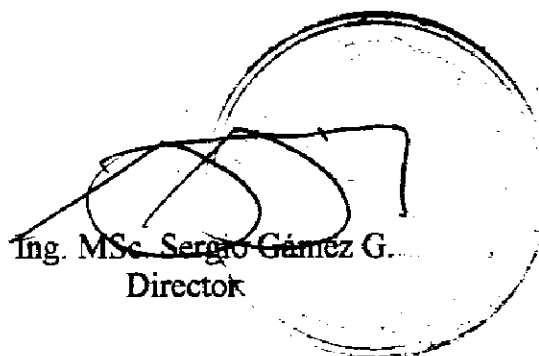
Managua, 27 de Octubre de 1998

Ing. Sandra Moreno Ayestas
Tesisista PIDMA
Sus manos

Esta Dirección tiene a bien comunicarle que el tema propuesto por Ud titulado: *"El Compostado Manual Aeróbico de Desechos Municipales con Pulpa de Café"* es aceptado como tema de Tesis para optar al título de Maestro en Ingeniería Ambiental.

Al mismo tiempo se acepta como tutor de su tesis a la Dra. Gabriela Foidl de quien Ud remitió curriculum.

Sin más que agregar y deseándole éxito en su investigación, me suscribo


Ing. MSc. Sergio Gámez G.
Director

Cc Archivo

Managua, 16 de Abril de 2002

Ing. Sergio Gámez G.
Director de PIDMA UNI
Su despacho.

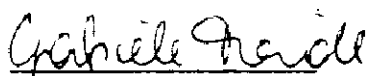
Estimado Ing. Gámez:

Con el mayor respeto me dirijo a Usted en ocasión de comunicarle que he leído y revisado cuidadosamente la tesis *Compostado manual aeróbico de desechos municipales con pulpa de café*, realizada en la ciudad de Jinotepe en el año 1996-1997 por la Ing. Sandra Moreno Ayestas, para optar al grado de Maestro en Ingeniería Ambiental, en el Programa de Investigación y Docencia en Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Ingeniería. En tal sentido, le manifiesto que la encuentro apta para ser defendida ante el tribunal examinador que usted designe.

Cabe destacar que el trabajo realizado por la Ing. Moreno trasciende a una investigación, sería idóneo que fuera tomada en cuenta por las autoridades competentes para la creación de políticas que coadyuven a solucionar los problemas de manejo de desechos sólidos, tan presentes en los municipios de Nicaragua, utilizando tecnología apropiada y sostenible.

Deseándole éxito en el desempeño de sus funciones, me despido.

Atentamente


Dra. Gabriele Foidl
Tutora

Cc: Ing. Sandra Moreno Ayestas Tesista
 Archivo.

Con el sudor de tu rostro
comerás el pan
Hasta que vuelvas a la tierra,
Pues de ella has sido tomado;
Ya que polvo eres, y al polvo
volverás.

Génesis 3.19

DEDICATORIA

Al Amore...

A mis hijas: Sandra, Elisa y Natalia.

A Mercedes Argüello Herrera ...

A los que creyeron en mí desde el principio...

A los que no saben...

O mejor dicho desconocen...

O a los que no habían pensado que :

"Polvo somos y en polvo nos convertiremos".

AGRADECIMIENTOS

Quiero patentizar mi más profundo agradecimiento a las instituciones y personas cuya participación posibilitó materializar esta idea:

Programa de Investigación y Docencia en Medio Ambiente PIDMA-UNI, en especial al Ing. Sergio Gámez Guerrero.

Universidad Tecnológica de Delft-Holanda, en especial al Ing. Idsart Dijkstra y al Dr. Marcel Donze.

Al Ing. Freddy Marín, Director Proyecto TUDelft-UNI , por su valioso apoyo.

Alcaldía de Jinotepe, especialmente a Doña Lylha Aguilar Román, por haber creído en este proyecto desde el principio y al Dr. Armando Rodríguez Serrano, por su continuidad.

A mi tutora Dra. Gabriele Foidl, por ser mi guía y por su gran aporte en la realización de este trabajo. Por su paciencia, tolerancia y toda la confianza brindada que se constituyó en verdadera amistad.

Al Ing. Nikolaus Foidl, por sus valiosas sugerencias.

A mis colaboradores y alumnos Herman Chow, José David Pineda y Manuel Rocha, por sus monografías.

Al Ing. Mauricio Rosales R. y al Lic. Chéster Pérez de INETER, excompañeros de trabajo y amigos siempre, por facilitarme los instrumentos de medición.

A la Ing. Haydée Gross y a la Lic. Lúa Toruño, por su trabajo de laboratorio.

A la Ing. Natalia Cristina Sequeira Moreno, mi hija, por tanto empeño en ayudarme.

A Reynaldo Avilés y Walter Guzmán, mis discípulos en diferentes etapas del trabajo.

A la Sra. Victoria Mairena Reyes, por su paciencia para descifrar mis manuscritos y por la edición de este trabajo.

A los amigos Aníbal Vivas y Arnoldo Guillén hijo, por tan bien logradas fotografías y al pintor Arnoldo Guillén por ayudarme a elaborar el emblema de la campaña.

Sandra Moreno Ayestas

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la ciudad de Jinotepe, Departamento de Carazo en el año 1996-1997. Tuvo tres componentes y contó con la colaboración de tres estudiantes de pregrado, el componente principal lo constituye el presente trabajo que tiene como objetivo general: Evaluar la técnica del compostado manual aeróbico de los desechos sólidos orgánicos municipales de la ciudad de Jinotepe y la pulpa de café, con el propósito de hacer una propuesta de manejo de los mismos.

El estudio se clasificó como de desarrollo tecnológico y experimental. El experimento se ubicó en el sector noreste de Jinotepe, frente al cementerio. Se realizó un estudio de caracterización de los desechos, tomando un muestreo aleatorio estratificado en los barrios San José y San Antonio instruyendo a la población para un manejo discriminado de los mismos. Se conformaron cinco pilas rectangulares en paralelo de 5m de largo, 2.40m de ancho y 1.40m de alto, con los desechos orgánicos de cada día y la pulpa de café en iguales proporciones y se utilizó la técnica manual y aeróbica. Dos pilas fueron con techo, una de desechos orgánicos y otra mezclada, dos sin techo de igual manera y una de pulpa de café sin techo. Se tomó la temperatura en las pilas en días alternos durante todo el proceso y se instaló un pluviómetro para medir la precipitación pluvial. Se hicieron cinco muestreos puntuales durante el proceso que duró cinco meses para los análisis de laboratorio de las variables más importantes del compost. Los resultados finales se compararon con las Normas austríacas de compostes de basura.

Según los resultados se concluyó que los desechos municipales de Jinotepe poseen un alto porcentaje de materia orgánica. El contenido de macronutrientes en todas las pilas supera la norma austríaca, los mejores resultados de N y K los obtuvieron las pilas B y D ambas mezcladas, no así de fósforo. La pila E de pulpa de café presentó el mayor contenido de materia orgánica y en general tuvo excelentes resultados. La precipitación pluvial incide negativamente en la descomposición por lo que el volteo tuvo que ser más frecuente, sin embargo en cuanto al contenido de macronutrientes la diferencia entre pilas con techo y sin techo no fue significativa.

Con base en los resultados se elaboró una propuesta para la construcción de una planta piloto de compostado manual aeróbico. Se recomienda aplicar la técnica del compostado manual aeróbico sin techo en otros municipios, llevando a cabo simultáneamente una campaña de sensibilización a la población y capacitando a los operarios, como se presenta en los Anexos 6 y 7 de este trabajo.

Palabras claves: Desechos sólidos municipales, Compostado manual, aeróbico, macronutrientes, materia seca, manejo discriminado.

Moreno Ayestas, S. 1996. Compostado manual aeróbico de desechos municipales con pulpa de café.

PRESENTACION

Este trabajo es valioso e importante. Valioso porque recoge el producto de varios años de trabajo de investigación constante de la autora, tanto bibliográfica como de campo, de tal manera que contiene información referente a la situación actual del manejo de los desechos sólidos en Nicaragua y principalmente aborda exhaustivamente la temática del compostado, cuya literatura en español es escasa. Importante porque más que una investigación, constituyó un acompañamiento científico técnico a la producción de compost en Jinotepe, que permitió la formulación de un proyecto para la construcción de una planta de compostado manual aeróbico en el Municipio, la cual se encuentra actualmente en operación.

Importante también porque simultáneamente a este proyecto la autora formuló una Propuesta metodológica de educación ambiental en manejo discriminado de desechos sólidos, capacitando a productores, funcionarios, operarios, maestros y estudiantes no solamente de Jinotepe sino de otros municipios, lo que ha posibilitado la extrapolación de la experiencia, favoreciendo a los que han puesto en práctica esta técnica apropiada y sostenible. Asimismo elaboró un instructivo sencillo acerca del procedimiento para la elaboración de compost en el municipio y en la casa.

La autora ha participado en una serie de eventos nacionales e internacionales que le han permitido compartir con otros expertos su propia experiencia y conocer el estado del arte, no sólo de Centro América, sino en Europa y Norte América. Actualmente está dirigiendo tres grupos de trabajo de investigación en Matagalpa, Diriamba y Chichigalpa, con estudiantes de pre-grado, dentro del marco de los convenios que la UNI ha suscrito con las municipalidades. Todo esto hace que la autora sea posiblemente una de las especialistas con más experiencia en compostado manual aeróbico y educación ambiental en manejo discriminado de desechos de sólidos en Nicaragua y Centro América.

Sandra Moreno Ayestas dotada de una fe inquebrantable en el desarrollo de su tesis nos presenta un ejemplo de lo que se puede hacer en un municipio y en la casa, siempre y cuando exista la voluntad de hacerlo. Dejo en las manos de ustedes este trabajo con la seguridad de saber que será de mucha utilidad en el desarrollo de los municipios del país.

Dra. Gabriele Foidl
Tutora

Managua, Mayo 2002

CONTENIDO GENERAL

Epígrafe.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv
Presentación.....	v
Contenido general.....	vi
Índice de cuadros.....	viii
Índice de figuras.....	ix
Índice de fotos.....	x
Índice de anexos.....	xi
I INTRODUCCION.....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Justificación.....	12
II OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo general.....	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
III MARCO TEORICO.....	15
3.1 Evaluación del sistema de recolección de los desechos sólidos de la Ciudad de Jinotepe.....	15
3.2 Caracterización de la composición de los desechos sólidos y la densidad suelta.....	15
3.3 Propiedades químicas del compost.....	16
3.4 Macronutrientes.....	18
3.5 Propiedades físicas del compost.....	19
3.6 Parámetros físicos.....	20
3.7 Microbiología de la compostación.....	20
3.8 Aspectos higiénicos.....	30
3.9 Utilización de compost.....	35
3.10 La pulpa de café.....	35
IV DISEÑO METODOLOGICO.....	39
4.1 Tipo de estudio.....	39
4.2 Caracterización de la Ciudad de Jinotepe.....	39
4.3 Montaje de proyecto piloto de compostado manual.....	41
4.4 Muestreo.....	49
4.5 Método de análisis químicos de las muestras.....	51
4.6 Método de análisis bacteriológico.....	53
4.7 Composición física de los desechos y densidad.....	53
4.8 Equipos y herramientas.....	53

V RESULTADOS Y DISCUSION.....	54
5.1 Producción de desechos sólidos y densidad suelta.....	54
5.2 Caracterización de los desechos sólidos.....	55
5.3 Temperatura de las pilas de compost, humedad y precipitación pluvial.....	56
5.4 Resultados de análisis químicos del compost.....	61
5.5 Análisis bacteriológico.....	75
5.6 Propuesta tratamiento de desechos sólidos municipales y pulpa de café mediante compostado manual aeróbico.....	76
VI CONCLUSIONES.....	82
VII RECOMENDACIONES.....	84
VIII BIBLIOGRAFIA.....	85
IX ANEXOS.....	87

INDICE DE CUADROS

1.	Cobertura del Servicio de Recolección de Desechos por Departamento.....	7
2.	Composición física de los desechos sólidos.....	16
3.	Macronutrientes de algunos Compostes en Nicaragua.....	19
4.	Microorganismos identificados en el Compost.....	29
5.	Temperatura-tiempo requerido para destrucción de Patógenos en el proceso de compostaje.....	31
6.	Inactivación de poliovirus en compostaje con 60% de Humedad.....	31
7.	Aplicación compost (qq/mz).....	35
8.	Producción per cápita de desechos sólidos de cada estrato en la Ciudad de Jinotepe.....	54
9.	Densidad suelta de los desechos sólidos de cada estrato en la Ciudad de Jinotepe.....	55
10.	Clasificación de los desechos sólidos producidos en la Ciudad de Jinotepe.....	55
11.	Porcentajes de humedad de las pilas.....	58
12.	Sólidos volátiles.....	62

INDICE DE FIGURAS

1.	Etapas del manejo de los desechos sólidos municipales.....	5
2.	Esquema de la degradación de la materia orgánico.....	21
3.	Esquema de formación de humus nutritivo.....	22
4.	Esquema de liberación de nutrientes.....	23
5.	Esquema formación humus nutritivo en un complejo humus – arcilla.....	24
6.	Esquema del proceso de Compostaje.....	25
7.	Etapas del compostaje relacionadas a la respiración de CO ₂ y la temperatura.....	26
8.	Zonas de actividad microbiana en una pila de compost.....	32
9.	Tipos y dimensiones de diferentes pilas de compostaje.....	33
10.	Esquema de las pilas de compostado.....	44
11.	Caracterización de los desechos sólidos de Jinotepe.....	56
12.	Temperatura Pila A, desechos municipales con techo.....	57
13.	Temperatura Pila B, desechos municipales más pulpa de café con techo.....	57
14.	Precipitación versus temperatura de la Pila C, desechos municipales sin techo.....	60
15.	Precipitación versus temperatura de la Pila D, desechos municipales más pulpa de café sin techo.....	60
16.	Precipitación versus temperatura de la Pila E, desechos de pulpa de café sin techo.....	61
17.	Materia orgánica degradable.....	62
18.	Carbono orgánico total al final del proceso.....	63
19.	Nitrógeno total durante el proceso.....	64
20.	Nitrógeno orgánico al final del proceso.....	65
21.	Nitrógeno amoniacal durante el proceso.....	65
22.	Nitrógeno amoniacal al final del proceso.....	66
23.	Nitrógeno-nítrico durante el proceso.....	67
24.	Nitrógeno-nítrico al final del proceso.....	68
25.	Fósforo total durante el proceso.....	69
26.	Fósforo total al final del proceso.....	69
27.	Fósforo disponible durante el proceso.....	70
28.	Fósforo disponible al final del proceso.....	71
29.	Potasio al final del proceso.....	72
30.	Magnesio al final del proceso.....	73
31.	Valores del pH durante el proceso.....	74
32.	Valores del pH al final del proceso.....	74
33.	Mesófilos aerobios al final del proceso.....	75
34.	Coliformes fecales al final del proceso.....	76

INDICE DE FOTOS

1.	Lombriz de tierra.....	27
2.	Cochinilla.....	27
3.	Hongos y otros organismos.....	28
4.	Caseta.....	42
5.	Pila A: desechos orgánicos municipales con techo.....	45
6.	Pila B: desechos orgánicos municipales con pulpa de café (Temporada) con techo.....	45
7.	Pila C: desechos orgánicos municipales sin techo.....	46
8.	Pila D: desechos orgánicos municipales con pulpa de café sin techo.....	46
9.	Pila E: pulpa de café sin techo.....	47
10.	Prueba de puño.....	48
11.	Trituradora manual.....	49
12.	Toma de muestras.....	50
13.	Muestras listas para llevar al laboratorio.....	51

INDICE DE ANEXOS

1.	Análisis químico Pila A: Desechos sólidos con techo.....	88
2.	Análisis químico Pila B: desechos sólidos con pulpa de café con techo.....	89
3.	Análisis químico Pila D: desechos sólidos y pulpa de café sin techo.....	90
4.	Análisis químico Pila C: desechos sólidos sin techo.....	91
5.	Pila E: pulpa de café sin techo.....	92
6.	El compostado manual aeróbico.....	93
7.	Propuesta metodológica de educación ambiental en manejo discriminado de desechos sólidos.....	108
8.	Fotos campaña educación ambiental.....	115

I. INTRODUCCION

1.1 GENERALIDADES

Los desechos sólidos existen principalmente como producto de la actividad humana. En los comienzos de la humanidad y mucho tiempo después, los desechos sólidos casi no constituyeron un peligro para la salud humana debido a la dispersión de la población. Sin embargo, cuando el hombre empezó a asentarse y a construir ciudades, la aglomeración de los desechos sólidos y los problemas consecuentes se hicieron sentir. No obstante, aunque parezca increíble, sólo recientemente se relacionaron con las enfermedades, de manera que se ha buscado y muchas veces se ha encontrado exitosamente la forma de recolectarlos, tratarlos y disponerlos adecuadamente.

Los países industrializados, grandes productores de desechos sólidos, son los más avanzados en los sistemas de recolección, tratamiento y disposición final. Esto no debe ser motivo de envidia por parte de los países no industrializados, ya que además de no producir tantos desechos, un sector de la sociedad ha comenzado a tomar conciencia del problema y se están buscando soluciones utilizando tecnología apropiada a fin de disminuir la dependencia económica. Sin embargo, estas iniciativas todavía no poseen el auge que debieran debido básicamente a la inexistencia de políticas adecuadas por parte del gobierno central, falta de recursos humanos especialistas en el tema y a los pocos recursos económicos con que cuentan las municipalidades.

Actualmente en Nicaragua existen sistemas de recolección de desechos sólidos en la capital y en algunas cabeceras departamentales. En la mayoría de los casos estos sistemas son muy rudimentarios y no funcionan óptimamente, lo que conlleva al deterioro del medio ambiente. Otros problemas mayores son la disposición final y el manejo de ellos, los cuales generalmente son depositados a *cielo abierto* en lugares un poco alejados de los asentamientos humanos, sin ningún tratamiento intermedio, constituyendo hábitat de vectores transmisores de enfermedades.

Igualmente sucede con los desechos producidos en las zonas del país con actividad cafetalera, donde la pulpa del café es arrojada a los ríos y quebradas o simplemente depositada a cielo abierto en los beneficios, donde se descompone sin ningún tratamiento, produciendo olores desagradables constituyendo molestia para los pobladores cercanos y para los que transitan cerca de esos lugares.

Ante esta situación es urgente la ejecución de estudios e investigaciones acerca de esta problemática, con el fin de obtener datos que puedan ser utilizados en la ejecución de proyectos con tecnología apropiada haciendo uso de los recursos naturales disponibles y que coadyuven a la solución óptima de la misma .

Tal es el principal propósito de esta investigación que se realizó en el período 1996-1997 en la ciudad de Jinotepe por un grupo de trabajo dirigido por la autora de esta tesis, con la participación de estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, que realizaron dos monografías: Caracterización y manejo de los desechos sólidos de la ciudad de Jinotepe, Nicaragua, 1997 y El relleno sanitario como método de disposición final de los desechos sólidos no orgánicos. Jinotepe, Departamento de Carazo, Nicaragua, 1998, éstos para optar al título de Ingeniero Civil en la Facultad de Tecnología de la Construcción y la autora para optar al grado de Maestro en Ingeniería Ambiental en el Programa de Investigación y Docencia en Medio Ambiente de la UNI.

La investigación principal se denominó *El compostado manual aeróbico de desechos sólidos municipales con pulpa de café*, trabajo que plantea la compostación o compostado manual aeróbico como alternativa para el tratamiento de los desechos sólidos orgánicos municipales y la pulpa del café producidos en el Beneficio Santiago de la ciudad de Jinotepe.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Situación actual del manejo de desechos sólidos en Nicaragua

a) Generalidades

Nicaragua cuenta actualmente con una población cercana a los cinco millones de habitantes, esto significa que en los últimos 50 años se ha quintuplicado prácticamente su población. En 1950 contaba con un millón de habitantes y en 1995 sobrepasó los cuatro millones, este incremento poblacional y la emigración rural hacia las ciudades ha agudizado los problemas ambientales que anteriormente no eran tan relevantes.

Uno de estos problemas es el producido por la disposición desordenada de los desechos sólidos, que son una fuente de contaminación del medio ambiente y de producción de vectores de toda especie que afectan la salud de los ciudadanos. Además, genera una opinión negativa de la población hacia la capacidad de gestión de las alcaldías, por lo que la búsqueda de soluciones efectivas es una necesidad imperante para la sociedad y para las instituciones encargadas de las tareas de limpieza pública.

Se estima que las municipalidades que cuentan con el servicio de recolección, solamente alcanzan una cobertura del 50-60% de los desechos sólidos generados. El resto es depositado por la población en distintos sitios de la ciudad y sus alrededores.

b) Marco legal del servicio de limpieza pública

El servicio de gestión de desechos sólidos es una actividad que corresponde ejecutar a los gobiernos municipales por mandato legal, con el propósito de asegurar de forma permanente, regular y continua la satisfacción de las necesidades colectivas y conservar un ambiente además de sano, agradable. En tal sentido la ley 40 de municipios establece la competencia de las alcaldías municipales para brindar el servicio de limpieza pública, recolección, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos.

El Ministerio de Salud (MINSA), de acuerdo con el decreto 294 relativo a *Disposiciones Sanitarias*, ejerce la supervisión para la adecuada disposición de los desechos sólidos de diferente origen. Asimismo, la expedición de normas sobre manejo de residuos industriales y hospitalarios peligrosos está a cargo del Ministerio de Recursos Naturales y del Ambiente (MARENA) y del MINSA.

A continuación, se presenta una recopilación de los principales artículos de la Ley de Municipios vigente que tienen estrecha vinculación con las competencias de las alcaldías en este tema.

Los Artos. Nos. 3, 6, 7, 10 de la Ley de Municipios establecen que las municipalidades son personas jurídicas de derecho público con plena capacidad para adquirir derechos y contraer obligaciones; tienen competencia para la prestación de servicios para la higiene comunal y la protección del medio ambiente; la satisfacción de las necesidades de la población; la limpieza pública y recolección, transporte y tratamiento de residuos sólidos; realizar actividades relativas a la educación ambiental, viviendas, agua, salud y deportes.

Este marco legal es complementario con otras disposiciones contenidas en decretos y leyes tales como: la Ley No. 59 (Ley de División Política Administrativa); el decreto No. 498 (Reglamento de Organismos y funcionamiento Municipal); el Decreto No. 394 (Ley de Disposiciones Sanitarias); el Decreto No. 455 (Plan de Arbitrio Municipal), así como las reformas a las mismas, en las cuales se estipulan claramente las regulaciones, derechos, deberes, impuestos, tasas, sanciones y demás, que la población, instituciones y la sociedad civil deben cumplir o exigir, en el ámbito que nos ocupa, para garantizar una mejor administración de los servicios municipales.

El marco legal permite la prestación de los servicios municipales por modalidades distintas a la administración directa por la Alcaldía. De manera explícita, el acápite b) del artículo 9 de la Ley de Municipios establece lo siguiente: "En el ejercicio de su competencia los municipios podrán: b) Celebrar contratos u otorgar concesiones previa licitación con personas naturales o jurídicas, de carácter

privado, para la ejecución de funciones, sin menoscabo de ejercer sus facultades normativas y de control”.

Sin embargo, las leyes existentes concernientes al tema de residuos sólidos, no han sido reglamentadas, de tal manera que el marco legal carece de las siguientes normativas:

- Reglamentos para establecer sistemas de manejo y administración de residuos sólidos.
- Normas específicas para el manejo y disposición de residuos hospitalarios.
- Guías técnicas sobre los sistemas de recolección y disposición final de desechos.

c) Políticas sectoriales relacionadas con los residuos sólidos

En 1996, el Gobierno de Nicaragua preparó *La Estrategia Nacional de Desarrollo Sostenible* (1996-2001), la cual establece como política el mejoramiento de los sistemas de recolección y disposición de desechos, y la implantación de sistemas de tratamiento de residuos sólidos en los procesos productivos, priorizando aquellos orientados al reciclaje. También establece como política el mejoramiento de la capacidad institucional para el manejo adecuado de residuos peligrosos y la implantación de planes de educación ambiental a todos los niveles.

Anteriormente, en 1993, se había elaborado el Plan Nacional Ambiental, en el cual se designaba al MARENA como organismo coordinador, y se establecía que la solución del problema de los residuos sólidos debería realizarse por cada uno de los Municipios afectados, de acuerdo con la siguiente prioridad: León, Managua, Granada, Estelí, Matagalpa, Jinotega, Bluefields y Puerto Cabezas.

A pesar de estos esfuerzos, un Plan Nacional de Residuos Sólidos no se ha implantado.

d) Experiencias de algunos municipios en el manejo de los desechos sólidos

Con el apoyo técnico del Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal (INIFOM), las municipalidades de Catarina, Niquinohomo, Nandasmo y San Juan de Oriente, todas ellas pertenecientes al Departamento de Masaya, iniciaron el proyecto de Manejo Integral de Desechos Sólidos-PROMIDS, utilizando volcarretas tiradas por caballos o bueyes y el empleo intensivo de mano de obra, está alcanzando una creciente aceptación a nivel institucional y entre la población, contribuyendo en gran medida a la solución del problema de los desechos en estos municipios.

En el año 1995, la Alcaldía de Managua dio una concesión a Eco-Idrojet, una empresa italiana especializada en el tema, para que se hiciera cargo de la

recolección de los desechos de los Distritos 3, 5 y 6 de la capital, los otros distritos de la ciudad continuaron siendo atendidos por la flota de vehículos de la alcaldía. Esta experiencia no resultó positiva y en abril de 1997 la empresa cerró operaciones.

Las causas principales del fracaso se atribuyeron al desconocimiento por parte de la empresa de las condiciones locales y la falta de sensibilización de la población para el pago oportuno del servicio a la empresa recolectora, así como el saqueo y destrucción de los contenedores y la falta de aplicación firme del marco legal establecido.

e) El sistema de residuos sólidos en Nicaragua

El sistema de residuos sólidos Municipales está integrado por las distintas etapas que se requieren para el manejo de los mismos. Se entiende por manejo todas aquellas actividades relacionadas con el control de la generación, almacenamiento, recolección, transferencia, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos, de manera acorde con los mejores principios de salud pública, ecología, economía, ingeniería y otras que promueven el bienestar y confort de las poblaciones.

La figura siguiente muestra un diagrama de las etapas del manejo de los residuos sólidos:

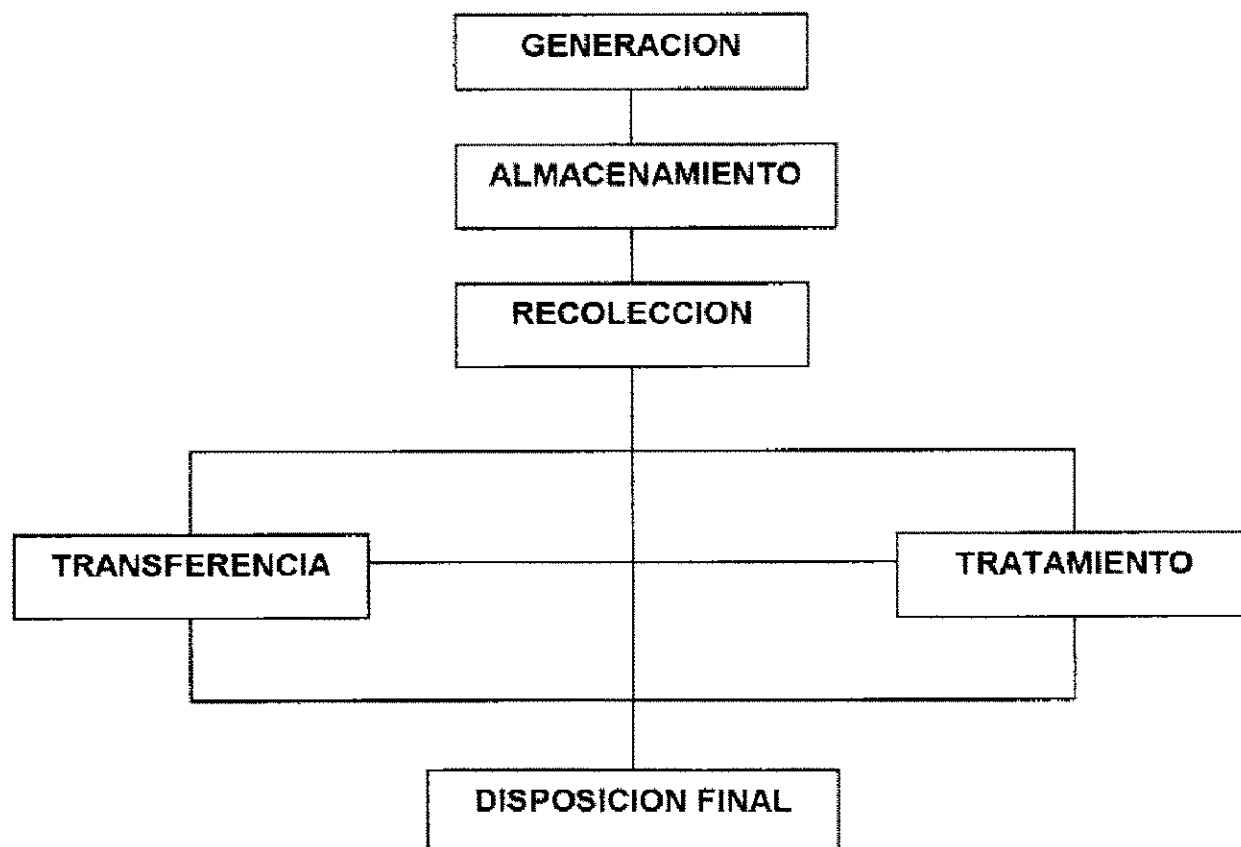


Figura 1. Etapas del manejo de los desechos sólidos municipales.

- **Generación**

No existe información confiable sobre la producción de residuos sólidos en la mayor parte de las ciudades del país con excepción de los estudios de JICA (siglas en inglés de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón) para Managua, León, Granada y Chinandega y los realizados por la UNI. Así mismo no hay suficiente información de los residuos generados en las fuentes, tales como: domiciliar, mercados, industrias, comercio.

Según el "Diagnóstico de Desechos Sólidos" (ALMA, 1990), en Managua se producían 550 TM de residuos sólidos al día. En 1995 se estimó que la producción había subido a 700 TM/día, y para 1997 se estimaba una generación de residuos de 945 TM/día (0.73 kg/persona-día), de los cuales se recolectaban 730 toneladas. Los desechos restantes se generaban principalmente en los barrios marginales y no se podía recolectar.

Según estudios de INIFOM (1997) realizados en 41 municipios del país, la generación de residuos sólidos per cápita se puede estimar así:

Managua	0.70 kg/hab/día
Ciudades secundarias	0.52 "
Area rural	0.14 "
Promedio nacional	0.43 "

- **Recolección**

La información sistematizada por INIFOM, refleja que el servicio de recolección de los desechos sólidos se brinda en 73 cabeceras municipales de las 147 existentes en el país, únicamente en las áreas urbanas, y éstas a su vez se subdividen en áreas con servicio de recolección o sin él.

El cuadro 1 se presentan datos sobre la cobertura estimada del servicio en los departamentos del país.

Cuadro 1. Cobertura del servicio de recolección de desechos por departamento.

Departamento	Población Urbana 2000	Producción Percápita kg/día	Generación Desechos (TM)año	Recolec. Estimada (TM)año	Cobertura Estimada %
N. Segovia	54,720.0	0.50	9,986.5	3,994.6	40.0
Madriz	22,445.0	0.50	4,096.3	1,638.5	40.0
Estelí	77,863.0	0.50	14,210.1	8,526.0	60.0
Chinandega	167,279.0	0.50	30,528.5	18,317.1	60.0
León	152,934.0	0.50	27,910.4	22,328.4	80.0
Managua	1,188,432.0	0.73	316,657.7	243,826.4	77.0
Masaya	117,791.0	0.50	21,496.9	10,748.4	50.0
Granada	79,971.0	0.50	14,594.7	11,675.7	80.0
Carazo	70,473.0	0.50	12,861.3	9,002.9	70.0
Rivas	39,368.0	0.50	7,184.6	3,592.3	50.0
Boaco	31,398.0	0.50	5,730.2	3,438.1	60.0
Chontales	58,210.0	0.50	10,623.3	6,373.9	60.0
Jinotega	42,102.0	0.50	7,683.59.0	3,841.8	50.0
Matagalpa	105,393.0	0.50	19,234.2	9,617.1	50.0
RAAN	43,278.0	0.50	7,898.2	3,159.3	40.0
RAAS	84,098.0	0.50	15,347.8	6,139.1	40.0
Río San Juan	11,814.0	0.50	2,156.0	862.4	40.0
TOTAL	2,347,568.6		528,200.1	367,082.2	69%

De acuerdo al cuadro anterior, se estima que la población urbana del país genera diariamente 1,447 toneladas métricas de residuos sólidos, que representan una producción per cápita (PPC) promedio de 0.61 kg/día. De esta cantidad generada, se recolectan diariamente 1,005 toneladas, que corresponden a una cobertura promedio del 69% del volumen generado, quedando diariamente 442 toneladas sin recolectar.

La frecuencia de recolección de los residuos sólidos domiciliarios es generalmente de una a tres veces por semana, mediante vehículos recolectores de diferente capacidad. En las zonas de difícil acceso, debido al estado de las calles y otros problemas que obstaculizan el tránsito, la recolección no se efectúa y se procura que la población utilice contenedores con capacidades que van desde 1 m³ hasta 15 m³, cuyo contenido se recoge una o dos veces por semana. Sin embargo esta frecuencia es irregular, lo que provoca que se desborden los contenedores y se riegue los desechos por todas partes, constituyendo criaderos de vectores transmisores de enfermedades que afectan la salud pública y la estética de la ciudad.

Con relación a los desechos sólidos peligrosos, estudios realizados por la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS) e informaciones del INIFOM, revelan que no se emplean criterios técnicos ni sanitarios para el almacenamiento, recolección, transporte y disposición final de este tipo de desechos, en los que se incluyen residuos industriales tóxicos, residuos químicos, residuos hospitalarios y otros clasificados como peligrosos.

En el caso de los desechos industriales y comerciales se realiza la recolección con vehículos recolectores con brazos para cargar contenedores de 1 m³. La evacuación de los desechos hospitalarios y de los centros de salud se procura realizarla diariamente, aunque las condiciones de trabajo para el personal no son las más higiénicas.

De la misma forma, la recolección en los mercados tiene lugar a través del empleo de contenedores de 15 m³ de capacidad, que son cambiados periódicamente.

- **Disposición final de los desechos sólidos en Nicaragua**

La disposición final de los desechos sólidos en los municipios del país que brindan el servicio de recolección, se realiza en vertederos a *cielo abierto* sin ningún tipo de tratamiento. Las únicas localidades que cuentan con los llamados rellenos sanitarios (Mateare, Santo Tomás, Nindirí, Santa Teresa, Acoyapa, etc) son cabeceras municipales pequeñas y en la mayoría no están funcionando bien.

En varias ciudades principales (León, Granada, Chinandega, Masaya, etc) se requiere con urgencia localizar nuevos sitios de disposición final de los desechos sólidos. Según datos del MINSA, en 1998 sólo el 31% de los vertederos de Nicaragua cuentan con autorización sanitaria.

En la ciudad de Managua, generalmente, los desechos sólidos industriales y peligrosos se disponen conjuntamente con los domiciliarios sin ningún tratamiento especial. Los desechos hospitalarios orgánicos son recolectados por cada hospital e incinerados en el Hospital Alemán Nicaragüense. De los dos hospitales públicos especializados en maternidad, uno incinera su propio material orgánico mientras que el otro lo entierra o incinera también en el Hospital Alemán.

- **Proyectos de construcción de rellenos sanitarios**

En los años 1995-96, en el marco del apoyo técnico y financiero del proyecto NIC/95/017-PNUD-AECI, SUECIA, se hicieron los estudios y diseños de rellenos sanitarios para las ciudades de Mateare, Santo Tomás, Santa Teresa, Acoyapa y Ocotol. Además en estos mismos municipios se inició la formulación del proyecto para la construcción y operación de sistemas simplificados de recolección y disposición final de desechos sólidos, así como el tratamiento de los mismos.

Todos estos sistemas de tratamiento se encuentran actualmente contruidos y cada una cuenta con sus respectivas redes de recolección de lixiviados y sistemas de tratamiento, pero, como se mencionó anteriormente no están funcionando bien.

Asimismo, dentro del marco del proyecto CAM-PROFIM se hicieron los estudios y diseños de construcción de rellenos sanitarios para los municipios de San Ramón, El Jícaro, La Concepción, Diriomo, Ciudad Darío, La Paz Centro, Boaco, Chinandega y Nindirí.

Posteriormente dentro del marco del proyecto JICA se hicieron los estudios y diseños de construcción de rellenos sanitarios de los municipios de El Viejo y Managua.

En Masaya, Jinotepe, El Tuma-La Dalia se hicieron también estudios de relleno sanitario por iniciativa de las alcaldías y financiamiento de USAID/PADCO.

f) Aspectos económicos del servicio

De acuerdo a los Planes de Arbitrios Municipales la recuperación de los costos del servicio de aseo brindado por las municipalidades no debe ser menor al 50%, existiendo cobros diferenciados según el tipo de beneficiario: residencial, comercial, industrial o institucional.

El problema principal es que las municipalidades, en general, no conocen el costo del servicio que ofrecen y no tienen una estrategia de recaudación adecuada. Se estima que apenas el 27.5% de los costos son recuperados con las tasas pagadas por los beneficiarios del servicio en los municipios.

g) Investigaciones, Programas académicos y Proyectos de compost impulsados en Nicaragua

Generalmente en los países en vías de desarrollo y particularmente en Nicaragua, los desechos sólidos municipales así como los desechos de la agroindustria, contienen gran cantidad de biomasa (materia orgánica) que puede ser recuperada, mediante un procesamiento muy sencillo que permite la obtención de abono orgánico, llamado *compost*, rico en minerales.

La autora tiene conocimiento del compostado artesanal en Nicaragua, aproximadamente hace unos cuarenticinco años, cuando Don Ramón Grijalba, granjero matagalpino cultivador de hortalizas, enterraba los desechos biodegradables por cierto tiempo y luego los depositaba en sus cultivos (Moreno, N. 1995. Comunicación personal). Así mismo en los jardines de algunas casas se acumulaban los desechos orgánicos y el estiércol de ganado vacuno y caballar, después de algún tiempo eran aplicados como abono en plantas ornamentales. La técnica de la compostación a nivel urbano en el país es muy reciente, prácticamente data a partir de 1984 con un proyecto que impulsó el Movimiento

Comunal de la Colonia Centroamérica, en Managua, dirigido por la Sra. Ruth Kelly y financiado por un organismo alemán.

En este proyecto se procesaba, por tratamiento aeróbico, los desechos orgánicos de 400 casas en las cuales se montó una campaña de educación ambiental casa por casa para separar los desechos desde el origen, éstos eran recolectados en un carretón de caballos y trasladados a un predio muy cerca de donde fue el autocine Gando. Se desconoce si se hicieron pruebas de laboratorio del producto final para investigar su calidad, sin embargo éste era utilizado en un huerto comunal y comercializado. Se ignora, además, el motivo por el cual se discontinuó el proyecto.

Fue a partir de 1992 que la Universidad Nacional de Ingeniería, a través de la Dirección de Investigación y Orientación Tecnológica, DINOT-UNI con el Proyecto Biomasa y la Empresa Sucher & Holzer de Austria, inició algunos proyectos de investigación evaluando varios tipos de compost, tanto el de estiércol de ganado vacuno en los mataderos de la ciudad de Masaya y Chinandega, como de los desechos orgánicos del mercado de Masaya.

En 1993 la Alcaldía de Managua inició el tratamiento por descomposición aeróbica, de los desechos orgánicos de los mercados en el botadero de Acahualinca. Este proyecto fue desarrollado y financiado por organismos no gubernamentales de Holanda y se conoció como Proyecto Ámsterdam, se realizaron análisis de laboratorio. El producto obtenido se comercializó en el país y se distribuyó en algunos supermercados, teniendo aceptación por pequeños productores y viveros municipales.

En 1994 con los desechos orgánicos del mercado de Masaya se realizó la tesis *Evaluación y Adaptación de la Tecnología de la Compostificación para el Tratamiento de los Desechos Sólidos de la Ciudad de Masaya* por la Ing. Mercedes Argüello Herrera MSc, constituyendo en la actualidad uno de los trabajos más serios en este campo.

A partir de 1995 la Alcaldía de Matagalpa a través de su oficina de promotoría comunal inició un proyecto de compostado por descomposición anaeróbica, utilizando los desechos de los mercados. El mismo fue impulsado por INIFOM y se mantiene hasta la fecha, al producto obtenido se le han hecho algunos análisis físico-químicos en el laboratorio de UNI-CAFE, con buenos resultados.

El compost producido se utiliza en los viveros municipales, donde se cultivan plantas de diversas especies, con las cuales se están reforestando los cerros aledaños y ornamentando la ciudad. Así mismo, el compost se comercializa con algunos organismos y amas de casa, lentamente, debido principalmente al desconocimiento por parte de la población.

En la misma ciudad de Matagalpa, el organismo conocido como UNI-CAFE, en su laboratorio ubicado a 5 km de la ciudad sobre la carretera a El Tuma, está elaborando abono orgánico utilizando cascarilla de café y estiércol de ganado, que se emplea como sustrato para alimentar una especie de lombrices importadas de Baja California (lombriz roja californiana) de cuyo proceso se obtiene un producto con alto contenido de nutrientes denominado *humus* o *abono orgánico*, que se distribuye a los productores de café y se les enseña la técnica de la reproducción de lombrices, con el fin de aplicarlas en sus propias fincas. La técnica de la lombricultura actualmente en Nicaragua tiene mucho auge también en la zona del Pacífico.

En el centro experimental de Valle de Sébaco (departamento de Matagalpa), mejoran los suelos esparciendo directamente en los terrenos cultivables cascarilla de arroz, rastrojos de maíz, estiércol de ganado y algunas leguminosas como mucuna (frijol terciopelo) y dilichos, se llevan datos sobre la productividad de los cultivos en parcelas experimentales. Esta técnica denominada "abono verde" se aplica en países como China desde la antigüedad.

En los llamados "pueblos blancos" que son Niquinohomo, Nandasmo, Catarina, Diriomo y Diriá, existen pequeños proyectos artesanales de compostado manual manejados por cooperativas de mujeres e impulsados por algunos organismos europeos. Así mismo en Chinandega existen algunas experiencias, también es importante mencionar la producción de compost en algunos municipios de Boaco, dentro del proyecto *Campesino a campesino*.

En 1996, el Programa de Investigación en Medio Ambiente de la UNI ejecutó dos investigaciones en compost, con financiamiento del gobierno de Holanda dentro del Proyecto TUDELFT-UNI. La primera investigación se tituló "Utilización de microorganismos efectivos (EM) en los desechos sólidos orgánicos", en la ciudad de Masaya, ejecutada por la investigadora Ing. María Reyes, la segunda es la tesis actual.

En el año 2000, en la ciudad de León, en el barrio 23 de Julio, inició un proyecto de producción de compost con tratamiento aeróbico, manejado por el organismo PRODE MUJER auspiciado por el organismo Agenda XXI. Se recolectan los desechos orgánicos de 700 familias, se deberán producir y comercializar por el orden de 6000 quintales anuales para que el proyecto sea sostenible. En este proyecto, también se han hecho análisis al producto final.

En este mismo año se realizó la investigación *Efecto de tres diferentes inóculos en la degradación de material orgánico de residuos de mercado y pulpa de café*, por las Ings. Ileana Pérez e Irela Guerrero, de la Facultad de Ingeniería Química de la UNI.

Todos los esfuerzos mencionados anteriormente, casi han funcionado de manera dispersa y no se lleva un control sistemático del producto final o de los resultados obtenidos con la aplicación del compost. Esto evidencia la falta de estudios serios y amplios en este campo, necesidad que obviamente se debe satisfacer en el corto plazo para obtener datos que puedan servir de parámetros de comparación entre los compostes nicaragüenses.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Como se mencionó, es evidente que con el crecimiento desproporcionado de las ciudades, el problema de la generación y acumulación de los desechos sólidos aumenta, y por tanto la proliferación de vectores transmisores de diversas enfermedades como la peste bubónica, tifus, disentería, rabia, shigelosis, fiebre tifoidea, salmonelosis, cólera, tuberculosis, leptospirosis y otras, así como la afectación de la estética de los lugares donde son depositados.

En ese sentido, el problema de la recolección, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos debe verse como un problema que necesita una solución inminente y que amerita no sólo la toma de conciencia del mismo por parte de un sector bien informado, si no, la sensibilización de las autoridades competentes, con el fin de que apoyen los estudios necesarios que conlleven a la ejecución de proyectos sostenibles para solucionar estos problemas de manera definitiva. Obviamente que la problemática de los desechos sólidos abarca los tres aspectos mencionados anteriormente y deben tratarse de forma integrada.

En consecuencia el presente estudio se justificó porque tuvo todos los componentes que suponen un Manejo Integrado de los Desechos sólidos (MID), debido a que se evaluó el sistema actual de recolección de los desechos de la ciudad de Jinotepe, tanto el microruteo como el macroruteo, se calculó la densidad suelta y se estimó la producción per cápita. Así mismo se caracterizó la composición física, para comprobar que la misma es altamente orgánica y que posee otros componentes, que ameritan tratamiento intermedio antes de ser enterrados en un relleno sanitario.

Por tanto, en esta tesis que constituye el componente principal del estudio, se abordó la técnica del compostado manual, que consiste básicamente en la degradación aeróbica y anaeróbica de la biomasa de los desechos sólidos, dando como resultado final un material estabilizado de color negruzco, muy similar al suelo natural, con propiedades nutrientes que puede ser utilizado para mejorar el suelo.

Esta técnica es una de las pocas formas operativas actuales de neutralización de los desechos orgánicos biodegradables. Además, permite eliminar residuos de la industria alimenticia, de papel, aserraderos, caficultura; facilitando la recuperación de vidrio, plástico, papel y otros productos. Por tanto, debe ser considerado en el tratamiento de los desechos sólidos del país, lo que es altamente posible, debido a

la rica biomasa (materia orgánica) existente, como se verá en los resultados de esta tesis.

En el presente estudio se seleccionó la ciudad de Jinotepe por varios aspectos, entre los que destacan su fama de ser la ciudad más limpia de Nicaragua lo que induce a pensar en los buenos hábitos de limpieza que tiene la población, motivo que la hace fácilmente educable para la realización de este proyecto, también por que es una zona con alta actividad agrícola, especialmente la caficultura. Así pues, si se tratan los desechos biodegradables municipales conjuntamente con la pulpa del café, podría obtenerse un producto final útil, aplicable como abono natural en las fincas de la región y extrapolar la experiencia a las zonas cafeteras en el norte del país.

Por último, cabe destacar la sensibilidad y receptividad encontradas en las autoridades municipales y su valioso apoyo para concretar esta idea, de tal manera que la investigación prácticamente fue un acompañamiento científico-técnico, que posibilitó la capacitación de operarios y funcionarios de la alcaldía.

II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la técnica del compostado manual aeróbico de los desechos sólidos orgánicos municipales de la ciudad de Jinotepe y la pulpa del café producida en el beneficio Santiago, con el propósito de hacer una propuesta de manejo de los mismos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Evaluar el sistema de recolección de los desechos sólidos de la ciudad de Jinotepe.
- ✓ Caracterizar la composición física de los desechos sólidos, densidad suelta y producción per cápita.
- ✓ Analizar el comportamiento de los principales parámetros físicos: temperatura, humedad, aireación y tamaño de la partícula.
- ✓ Cuantificar las variables químicas: pH, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y relación Carbono-Nitrógeno, muy importantes para que se obtenga un producto útil.
- ✓ Realizar control bacteriológico de la compostación: conteo de mesófilos y coliformes fecales.
- ✓ Evaluar la incidencia de la precipitación pluvial en el comportamiento de la actividad microbiana y la calidad del compost, en las pilas sin techo.

III. MARCO TEORICO

3.1 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE JINOTEPE

Para evaluar el sistema de recolección se estudiaron los siguientes parámetros (Jaramillo et al., 1987).

- a. Puntos de recolección.
- b. Tamaño de la tripulación o cuadrilla.
- c. Densidad de los desechos.
- d. Frecuencia de recolección.
- e. Capacidad del camión recolector.
- f. Número de camiones recolectores.
- g. Selección de rutas: Sistema de recorrido ondulado.

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS Y LA DENSIDAD SUELTA

La composición de los desechos sólidos es importante en la selección del sistema de tratamiento y para estudios económicos de recuperación de subproductos. Obviamente se reconoce una composición física y una composición química de los desechos sólidos.

Según Carruth y Klee, la clasificación estándar de los componentes de desechos sólidos municipales son nueve divisiones:

Combustibles:

- a. Desperdicios de alimentos.
- b. Desperdicios de jardines (hojas, hierbas).
- c. Papel.
- d. Plástico, caucho, cuero.
- e. Retazos (textiles).
- f. Madera.

No Combustibles:

- a. Metal.
- b. Vidrio y cerámicas.
- c. Cenizas, rocas, tierra.

Para la caracterización en porcentaje por peso y el cálculo de la densidad suelta en el presente estudio, se utilizó el método del pastel o cuarteo, tomando la siguiente clasificación:

- a. Papel y cartón.
- b. Plástico.
- c. Metal
- d. Vidrio.
- e. Materia orgánica.
- f. Otros (cuero, madera, hule, etc.)

A continuación se presentan los resultados de estudios de la composición física de los desechos sólidos realizados por profesores y estudiantes de la UNI.

Cuadro 2. Composición física de los desechos sólidos.

Componentes	Duindam y Morales.	Argüello, M.	La Paz de Carazo	Ciudad Sandino
		%		
Papel y cartón	4.80	7.45	2.05	10.20
Plástico	3.20	6.48	2.54	9.40
Metales	1.60	-	0.48	1.80
Tela	2.60	-	0.61	4.70
Vidrio	1.50	-	0.73	5.00
Mat. Orgánica	85.50	84.72	93.60	68.90
Otros	-	-	-	-

3.3 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL COMPOST

3.3.1 Generalidades

La compostación sirve para convertir biológicamente los desechos sólidos orgánicos o desperdicios en materia estable, con apariencia de humus. O sea que se trata de conversión de energía, para que después de estabilizada la materia orgánica, pueda ser utilizada por las plantas como fuente de nutrientes.

En su proceso aeróbico, la compostación tiene dos fases. La primera fase (síntesis) convierte los desechos sólidos en microbios o mejor en biomasa. La segunda fase (endógena) obliga al autoconsumo de los microbios, hasta el agotamiento exhaustivo de las reservas energéticas de los microorganismos, quedando como producto final el compost.

Modernamente el compostado se prefiere hacerlo de forma aerobia, debido básicamente a que en este proceso la descomposición es más rápida y no hay producción de malos olores, por lo que una planta de compost puede instalarse en sitios poblados sin perjuicio de afectaciones desagradables.

3.3.2 Materia orgánica y sólidos volátiles

En la descomposición de la materia orgánica, se producen ácidos orgánicos o volátiles, principalmente si la descomposición es anaerobia. Por esta razón cuando se añaden los desechos sólidos al suelo directamente y ocurre una descomposición anaeróbica, la concentración de ácidos aumenta, bajando el pH, de tal manera que este parámetro se debe controlar muy cuidadosamente, cuando se va a efectuar una digestión anaerobia.

Sea cual fuere el modo de degradación, los sólidos volátiles son productos intermedios de la desintegración de los microorganismos, por lo que debe tenerse siempre presente.

Para calcular la materia orgánica, hay que determinar la pérdida por calcinación (sólidos volátiles), materia orgánica degradable y/o carbono total. Según el método de medición empleado para analizar el contenido de estas sustancias, las normas austríacas establecen ciertos límites:

Sólidos volátiles	≥	18 % M. S.
Materia orgánica degradable	≥	12 % M. S.
Carbono total	≥	12 % M.S.
Carbono orgánico total	≥	9 % M.S.

- **Sólidos volátiles**

El parámetro sólidos volátiles expresa la parte de la materia sólida que se transforma en gas debido a la calcinación a 550°C. Este parámetro es importante porque es un indicador en el desarrollo del proceso.

El contenido inicial de sólidos volátiles en los desechos sólidos es por el orden de 45% a 50%. Cuando se han reducido abajo de 40% y los sólidos totales se han incrementado a valores entre 60 y 65%, el proceso de compostado se considera completo (proceso de mineralización).

- **Carbono total**

El carbono constituye la fuente principal de energía para los microorganismos que actúan en el proceso de compostación aerobia y termofílica. Los microorganismos que participan en esta descomposición se componen de bacterias, actinomicetos y hongos.

Cuando el proceso de compostación se aplica a los desechos sólidos municipales, es común encontrar a lo largo del proceso, además de los microorganismos citados, otras formas vivientes como: protozoos, ácaros, nemátodos, lombrices e insectos. La predominancia de uno o varios de estos grupos de microorganismos

en una fase del proceso está relacionada con la temperatura, humedad, pH y sustrato donde realiza la actividad.

Las dos terceras partes del carbono consumido, son quemados por los microorganismos y transformados en gas carbónico y el tercio restante, entra a formar parte del protoplasma de las células de los nuevos microorganismos. Según las normas debe ser mayor o igual al 12%.

- **Relación carbono / nitrógeno (C:N)**

La composición de la materia prima orgánica para la compostación es de suma importancia para el resultado final del producto. Por esta razón se recomienda separar los compuestos inertes de los desechos sólidos biodegradables como llantas, vidrio, plásticos, metales, etc. (Jaramillo, J. y Salazar, A. 1987)

La relación C:N presente en los desechos sólidos, también se considera importante, la cual se asume como óptima entre 25 y 35. No obstante, esta relación no es rígida, ya que se han encontrado valores de C:N de 20 hasta 80, en compostaciones exitosas, aunque mientras mayor sea la relación, mayor es el tiempo de estabilización.

Si la relación C:N es cada vez más pequeña significa que la fermentación durante el proceso de compostado es correcta (Jaramillo, J. y Salazar, A. 1987). En los residuos frescos la relación C:N más favorable es de 25 a 35. Si fuera mayor a 40, la duración de la fermentación sería más larga. Si fuese inferior a 25, el exceso de nitrógeno se convertiría en amonio y se volatilizaría. Al final de la fermentación, este cociente C:N deberá ser un valor máximo de 20-25.

3.4 MACRONUTRIENTES

El humus o compost, obtenido en el proceso de tratamiento bacteriológico, debe de tener una relación nitrógeno / fósforo / potasio (N-P-K) determinada. Estos tres elementos forman el grupo de los macronutrientes y son básicos para el desarrollo vegetal, obviamente un buen compost debe contener un mínimo permisible de ellos.

En el presente estudio los resultados finales de los parámetros obtenidos en el compost maduro se compararon con las *Normas austríacas de compostes de basura*, que son las que actualmente se utilizan en Nicaragua, son las siguientes:

3.4.1 Nitrógeno

Nt	≥ 0.80 % M.S.
NO ₃ -N	≥ 0.03 % M.S.
H ₄ -N	≤ 0.03 % M.S.

3.4.2 Fósforo

$P_2O_5 \geq 0.40 \% \text{ M.S.}$

$P_2O_5 \text{ (CAL)} \geq 0.04 \% \text{ M.S.}$

3.4.3 Potasio

$K_2O > 0.30 \% \text{ M.S.}$

$K_2O \text{ (CAL)} > 0.25 \% \text{ M.S.}$

3.4.4 Contenido de macronutrientes de compostes en Nicaragua

En el Cuadro 3 se muestran los resultados del contenido de macronutrientes en algunos compostes realizados en Nicaragua.

Cuadro 3. Macronutrientes de algunos compostes en Nicaragua

Macronutrientes	Argüello M. (1994)	Reyes, M. (1996)	Bo. 23 Julio (León, 1999)	Managua (1993)
			%	
Nitrógeno	0.93	0.78	0.71	1.30
Fósforo (P_2O_5)	1.60	2.73	0.50	1.00
Potasio (K_2O)	1.60	1.07	0.32	0.70

3.4.5 pH

El pH tiene influencia en la disponibilidad de nutrientes principales y trazas. Se recomienda un pH neutral o ligeramente alcalino.

3.5 PROPIEDADES FÍSICAS DEL COMPOST

Los residuos sólidos orgánicos poseen propiedades físicas que es necesario conocer y controlar durante el proceso de tratamiento, estos son: contenido de humedad, capacidad de absorción de agua y densidad húmeda.

3.5.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad es un parámetro físico muy importante, debido a que el agua es el medio de transporte de los nutrientes que necesitan los microorganismos para vivir y desarrollarse. Debe haber un contenido óptimo de humedad; si la materia cruda tiene menos del 30% de humedad, los

microorganismos no se desarrollan bien, por otro lado, si tiene mucha agua, se atrasa el proceso y puede volverse anaeróbico debido a que desplaza el aire de los poros. Por esto se recomienda un contenido de humedad entre el 50% y el 55% durante todo el proceso para favorecer la actividad microbiana.

3.5.2 Capacidad de absorción de agua

Esta propiedad es muy importante para el suelo, depende del contenido de materia orgánica, grado de madurez del compost y distribución granular. Debe existir entre 85-120 g H₂O/100 g M.S.

3.5.3 Densidad húmeda

Una densidad húmeda alta dificulta las manipulaciones del compost (Transporte, etc) y es causada por un contenido alto de materia inerte o de agua. Se recomienda un $d_h < 850 \text{ kg/m}^3$.

3.5.4 Contenido de sal

Concentraciones altas perjudican el crecimiento de las plantas por interferir en el medio osmótico en la zona de las raíces.

3.5.5 Material de lastre

No tiene efecto dañino para el suelo, la planta y la cadena de alimentación, pero lleva a una disminución del valor del compost (Ej: Vidrio).

3.6 PARÁMETROS FÍSICOS

Los parámetros físicos más importantes a controlar en el proceso son: aireación, tamaño de las partículas, mezcla y temperatura.

3.7 MICROBIOLOGÍA DE LA COMPOSTACIÓN

3.7.1 Ciclo del humus en el suelo

El humus consiste en una comunidad de organismos activos con sus células protéicas, sus productos de metabolismo, hormonas, auxinas, antibióticos, etc. Se forma de cuerpos de animales y plantas degradados.

La mayoría de los cultivos en una agricultura intensiva tiene un efecto negativo en el contenido de materia orgánica en el suelo, por eso es importante la aplicación de compost para intensificar la producción de humus.

- **Degradación de la materia orgánica**

En la Figura 2, se muestra un gráfico que ilustra la degradación de la materia orgánica. Una multitud de microorganismos, como por ejemplo: algas, hongos, bacterias y actinomicetos, trabajan en la descomposición de la materia orgánica (parcialmente hasta en iones).

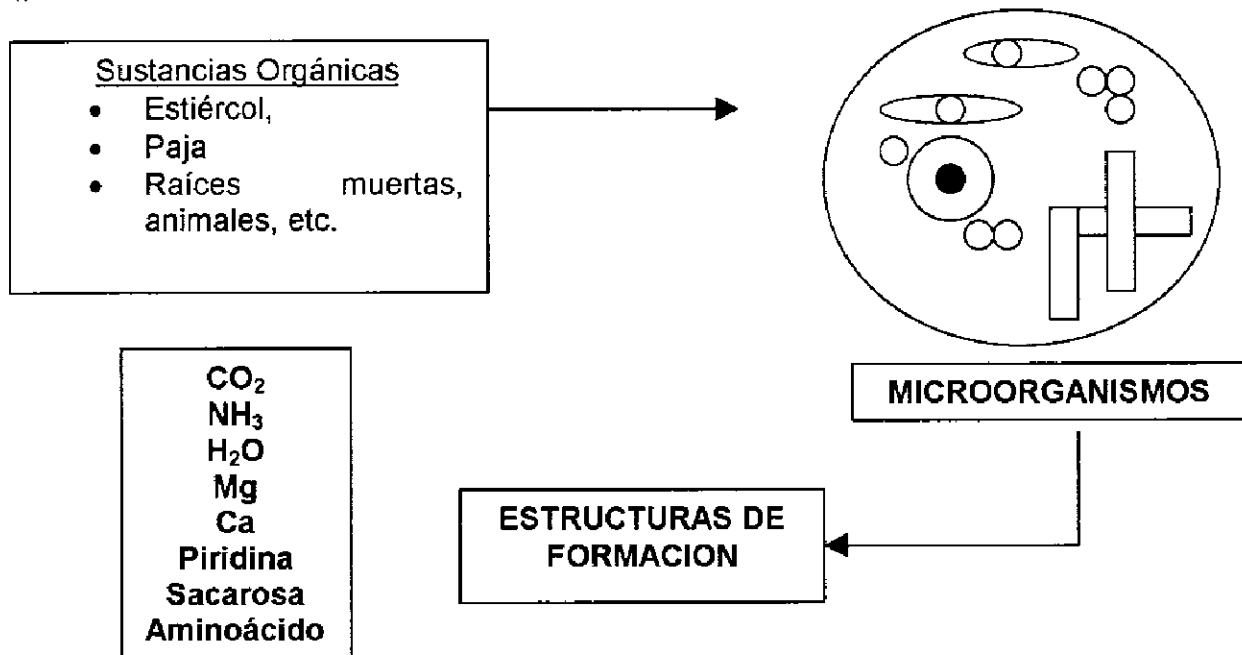


Figura 2. Esquema de la degradación de la materia orgánica

- **Formación de humus nutritivo**

La Figura 3, ilustra la diferencia entre humus y materia orgánica. Aquí se puede observar el trabajo que realizan otra serie de microorganismos en la *recombinación* de los diferentes compuestos a *humus nutritivo*. Este grupo de bacterias reacciona muy sensiblemente a las condiciones ambientales y solamente puede trabajar si encuentra las condiciones óptimas de humedad, temperatura y aire.

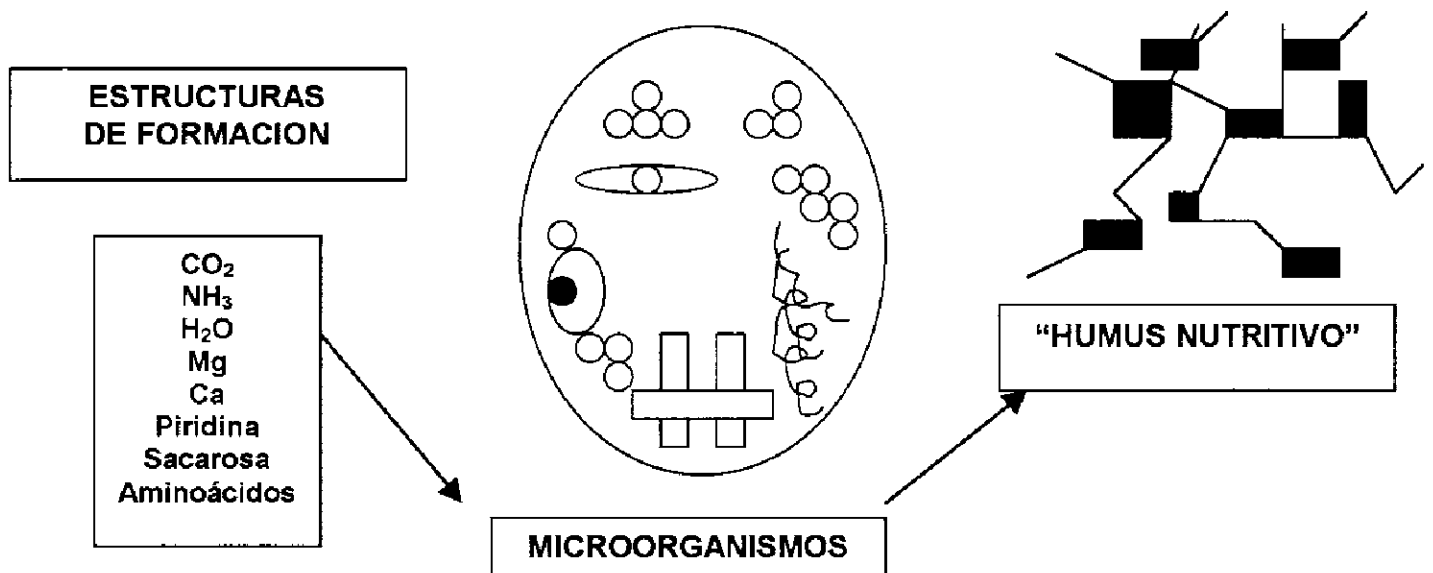


Figura 3. Esquema de formación de *humus nutritivo*

- **Liberación de nutrientes**

Para cerrar el ciclo se necesita un tercer grupo de microorganismos, que liberan los nutrientes del humus, haciéndolos asimilables para las plantas. La Figura 4, muestra este proceso, que se produce gracias a que las plantas tienen la propiedad de dirigir la liberación de nutrientes a través de secreciones de las raíces.

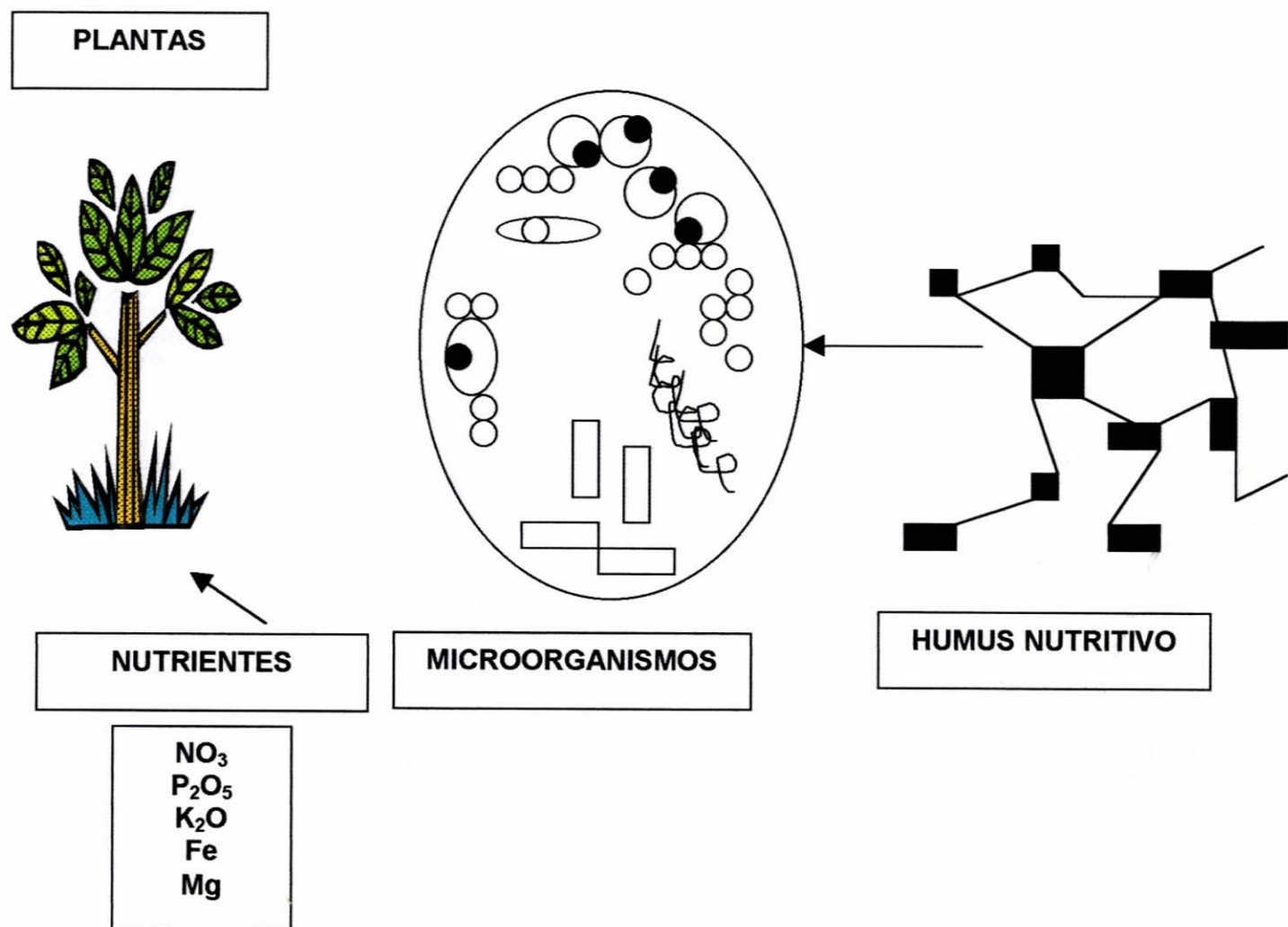


Figura 4. Esquema de liberación de nutrientes

- **Formación de humus estable**

Para completar el ciclo del humus hace falta la formación de humus estable (Figura 5). En caso de no ser consumidos los nutrientes del humus nutritivo, la estructura de éste se vuelve más complicada y se forma un complejo arcilla-humus, el cual se denomina humus estable.

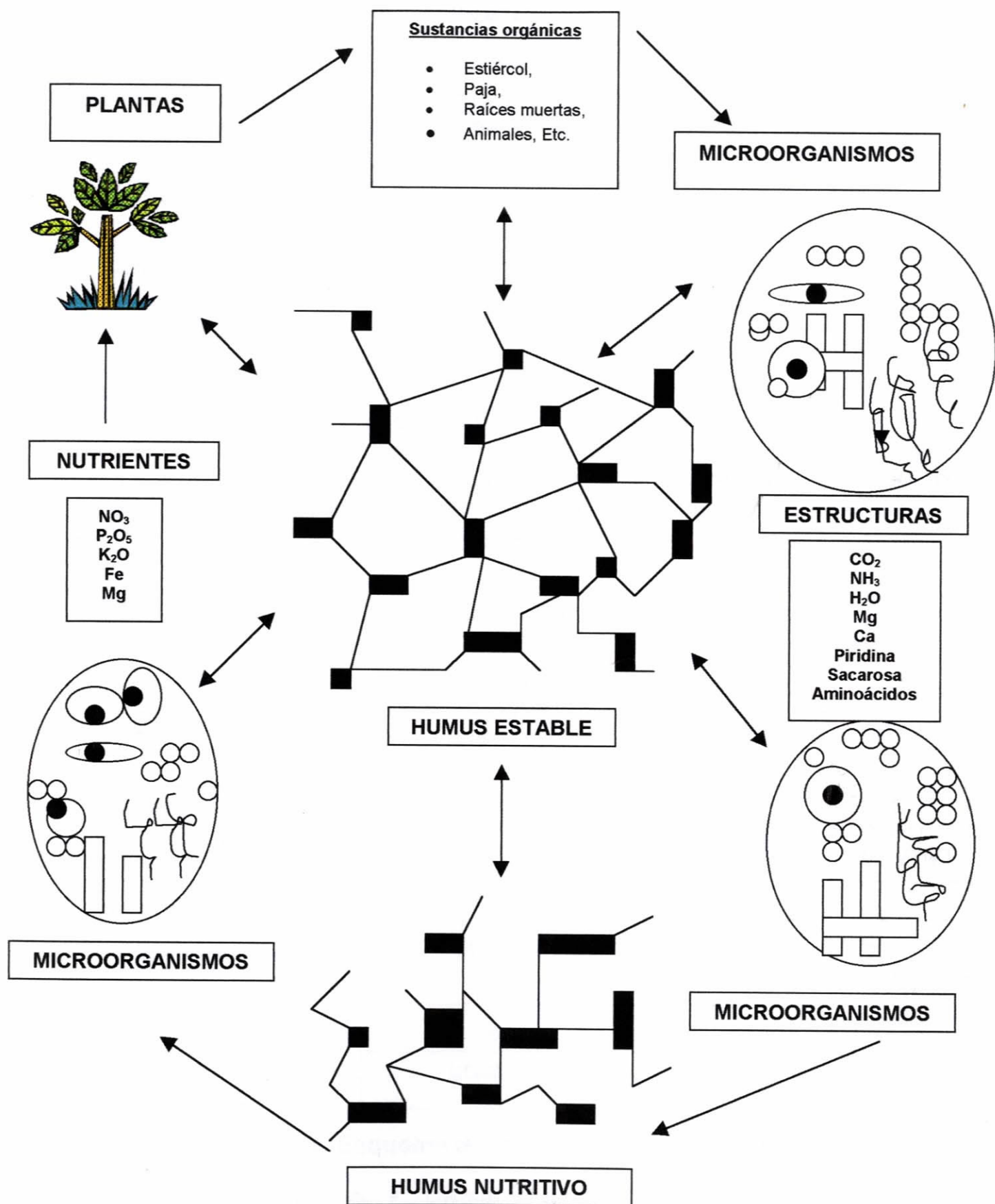


Figura 5. Esquema formación humus nutritivo en un complejo humus-arcilla

- **Propiedades del humus estable**

El humus estable posee varias propiedades muy importantes para el suelo, entre los que destacan:

Almacenamiento de nutrientes, estabilización del suelo en contra de la erosión, capacidad *Buffer*, descontaminación del suelo de compuestos tóxicos inducidos por la lluvia, purificación del agua, influencia positiva al equilibrio agua-aire (suelos pesados se vuelven más livianos y suelos livianos se vuelven más pesados).

3.7.2 Compostación

- Fase Mesofílica y Termofílica

La compostación es un proceso dinámico producido por la acción combinada de una población microbiana que descompone la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas controladas para obtener un producto útil de buena calidad, con un valor comercial. Durante todo el proceso actúan millones de gérmenes en las diferentes fases. En las Figuras 6 y 7, se ilustra el proceso relacionado con la mineralización de la materia orgánica, la respiración y la temperatura.

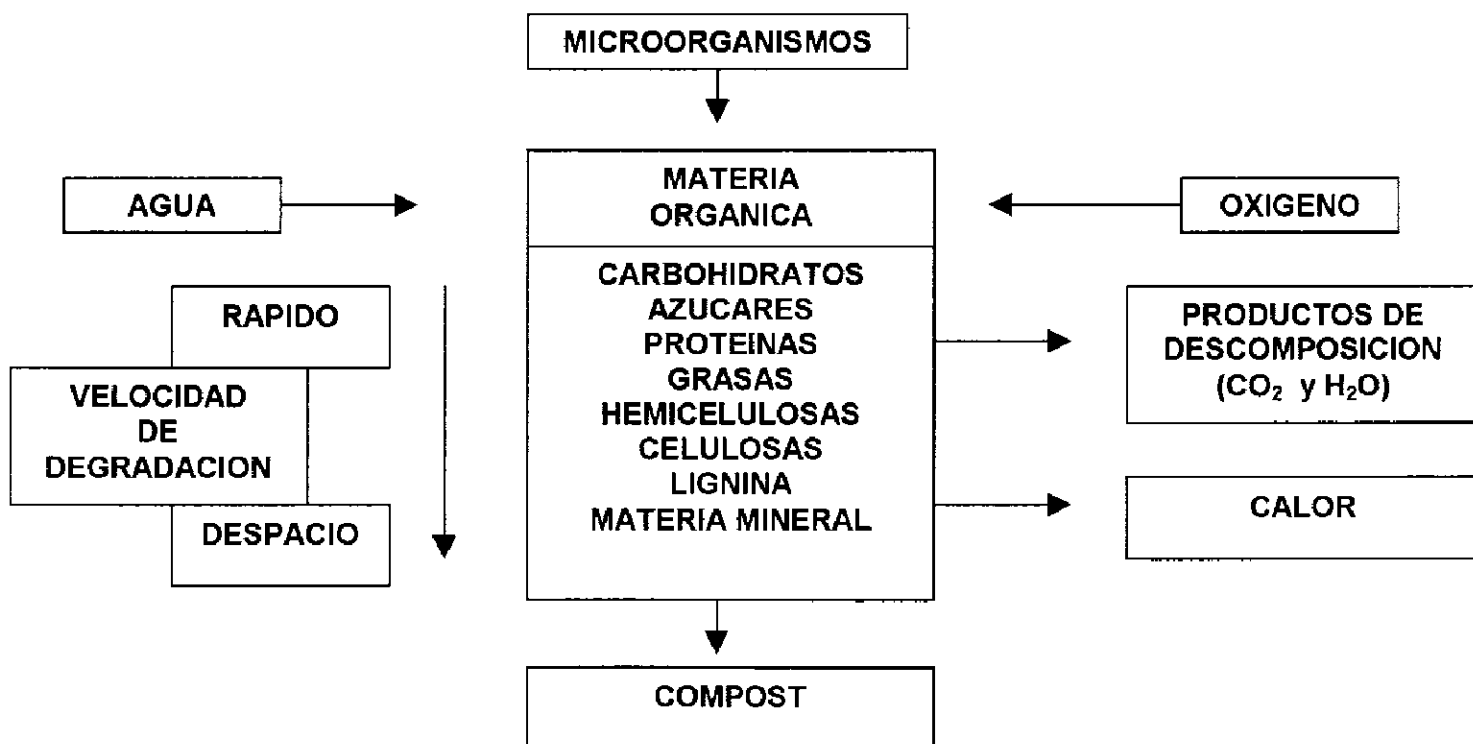
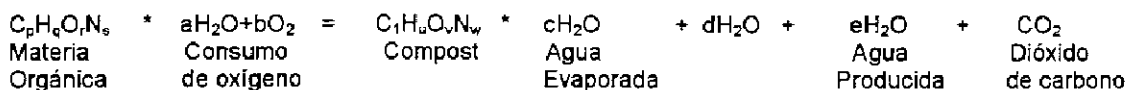


Figura 6. Esquema del proceso de compostaje



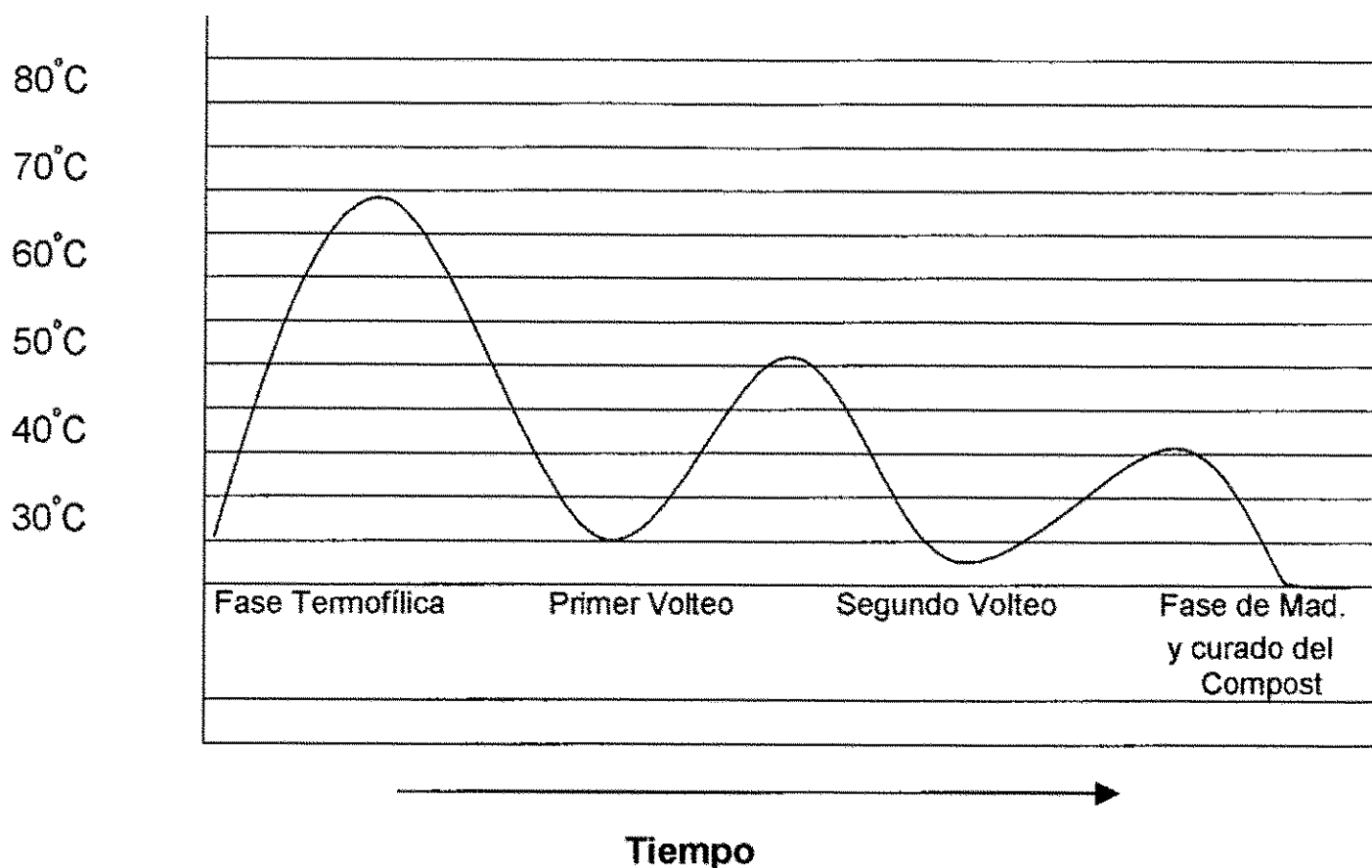


Figura 7. Etapas del compostaje relacionadas a la respiración de CO₂ y la temperatura

Temperatura

$T < 45^{\circ}\text{C}$ = Condiciones Mesofílicas y

$T > 45^{\circ}\text{C}$ = Condiciones Termofílicas

• Curado o maduración

Después de la fase termofílica, empieza a bajar la temperatura hasta la estabilización del proceso, con la aparición de los actinomicetos, los nutrientes mineralizados son recombinados en una estructura compleja llamada humus, con olor a tierra de bosque y color café oscuro. Esta etapa puede durar de la cuarta a la octava o décima semana. Cuando la temperatura es la del ambiente, aparece una nueva fauna de organismos superiores, caracterizada por lombrices, cochinillas y otros organismos superiores (Fotos 1, 2 y 3). Al final de esta fase el compost tiene mejor efecto fertilizante. Aquí es necesario también controlar en el compost, la presencia de microorganismos patógenos como coliformes, salmonelas y enterococos.

- **Humificación**

El compost en esta etapa, pero en dependencia del tiempo, presenta más y más el aspecto de tierra con mucha materia orgánica, debido a que un tercer grupo microbiano lo ha transformado en *humus estable*, así el compost tiene menos poder nutritivo, pero, causa mejor efecto en la estructura del suelo. En el Cuadro 4, se detallan algunos microorganismos presentes en el proceso del compost.



Foto 1. Lombriz de Tierra



Foto 2. Cochinilla



Foto 3. Hongos y otros organismos

Cuadro 4. Microorganismos identificados en el compost

<p>Bacterias</p> <p>Aerobacter (aerogenes) Bacillus megatherium B. stearothermophilus B. cereus B. mycoides Pseudomonad sp. (seven isolates) Flavobacterium sp. Micrococcus sp. Sarcina sp. Cellulomonas folia Chondrococcus exiguous Mycococcus virescens M. fulvus Thibacillus thiooxidans T. denitrificans Proteus sp.</p>	<p>Actinomycetos</p> <p>Nocardia brasiliensis Thermomonospora viridis T. curvata Micromonospora parva M. vulgaris Thermoactinomyces vulgaris Actinoplanes sp. Thermopolyspor polyspora Pseudonocardia Streptomyces violaceoruber S. thermoviolaceus S. rectus S. thermofuscus S. thermovulgaris Thermomonospora fusca T. glaucus</p>
<p>Hongos</p> <p>Rhizopus nigricans Thizoctonia sp. Geotrichum candidum}Mucor Pusillus Penicillium digitatum Mucor racemosus Torulopsis sp. Aspergillus flavus Absidia (ramosa) Saccharomyces sp. Pulluloria sp. Pythium sp. Hanisenula sp. Trichoderma koningi Talaromyces (Penicillium) duponti Stysanus stemonitis Glibotrys (alaboviridis) Humicola insolens Humicola griseus var. Thermoideus</p>	<p>Absidis orchidis Rhizopus arrhizus Candida (parapsilosis) Cladosporium (parapsilosis) Cladosporium herbarum Rhodotorula rubra Aspergillus tamarii Zygorhynchus vuilleminii Trichosporon cutaneum Verticillium sp. Synecephalastrum sp. Pichia sp. Cylindrocara sp. Chaetomium (thermophile) Lipomyces sp. Sporotrichium thermophile Fusarium moniliforme</p>
<p>Protozoos</p> <p>Chilomonas (paramecium) Cyathomonas (truncata) Lycogala epidendrum Cercomonas (crassicauda)</p>	<p>Algas</p> <p>Hormidium (nitens) Vaucheria (terrestris) Euglena mutabilis Protococcus vulgaris Dactylococcus (bicandatus) Chlorococcum humicola Microcoleus vaginatus Porphyridium (cruentum) Kentrosphaera sp. Diatoms (unidentified)</p>

3.8 ASPECTOS HIGIÉNICOS

A través del proceso de compostado, por la alta temperatura y la producción de antibióticos naturales, se obtiene un producto higienizado, libre de patógenos peligrosos para la salud humana, muy importante en caso de rastros.

En el Cuadro 5, se puede observar el tiempo necesario para la destrucción de diferentes patógenos a diferentes temperaturas. Como la temperatura de compostaje por varios días se registra por encima de 60° C, no existe peligro de niveles infecciosos de ellos. Muy importante es esto, en caso de los huevos de áscaris, que por mucho tiempo pueden permanecer vivos en el lodo de un digestor anaeróbico, pero en el proceso aeróbico mueren rápidamente por la acción de unos hongos.

Se debe evitar una reinfeción del material ya maduro con patógenos, por la capacidad de supervivencia de los microorganismos patógenos en los suelos, es decir no usar los mismos instrumentos para el manejo de compost maduro y material fresco o aún en degradación, sobre todo si se trata de compost esterilizado (temperatura por varios días a 70°C o por encima de este valor), por no existir suficientes microorganismos que pueden actuar en contra de ellos. Por esto se recomienda no esterilizar el compost, si existe el peligro de reinfeción.

En el cuadro 6, se presenta la inactivación de poliovirus en compostaje con 60% de humedades. Las normas austríacas para composte de basura recomienda que el número de unidades formadas (UCF) Aeróbicas de Compost debe satisfacer los límites siguientes:

Temperatura	U.C.F.
22°C	10^6 a 10^7
37° C	10^7 a 10^8
53°C	10^7 a 10^8

Cuadro 5. Temperatura-Tiempo requerido para destrucción de patógenos en el proceso de compostaje

Organismo	Tiempo de Exposición (en minutos) para destrucción a varias Temperaturas				
	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C
Entamoeba histolytic cysts	5				
Huevos Ascaris lumbricoides	60	7			
Brucella abortus		60		3	
Corynebacterium diphtheriae		45			
Salmonella typhi			30		
Escherichia coli			60		
Micrococcus pyogenes var. Aureus					20
Mycobacterium tuberculosis					20
Shigella spp.	60				
Mycobacterium diphtheria	45				
Necator americanus	50				
Taenia saginata					5
Virus					25

Fuente: Stern, 1974.

Cuadro 6. Inactivación de Poliovirus en Compostaje con 60% de humedad

Tratamiento	Porcentaje de unidades formadoras de colonias
35°C, 200 minutos	30.000
39°C, 20 minutos	7.200
43°C, 20 minutos	0.087
47°C, 5 minutos	0.003

• Zonas de actividad microbiana en una pila de compost

Las zonas de actividad microbiana en una pila de compostaje y las formas sugeridas se pueden apreciar en las Figuras 8 y 9. Son las siguientes:

La zona periférica, es la que se encuentra expuesta a los cambios del tiempo, se seca rápido y debido a la luz existe una actividad microbiana reducida.

La zona intermedia, es la zona de alta actividad microbiana, aquí el oxígeno se agota rápidamente y la temperatura puede elevarse demasiado, lo que perjudica a

los microorganismos, no solamente por la alta temperatura, sino por la evaporación del agua llevando a la producción de un material demasiado seco.

El núcleo, es la zona que está pegada al suelo, en ella existe el peligro de crear condiciones anaerobias, sobre todo si se trata de una materia prima relativamente húmeda.

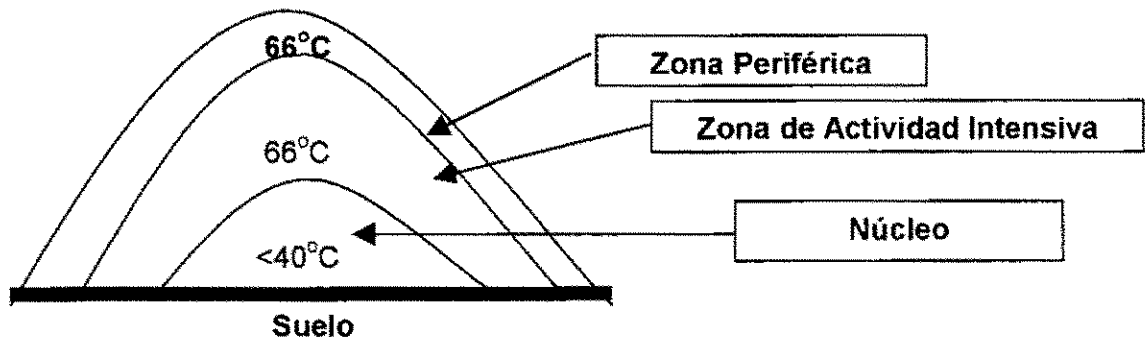


Figura 8. Zonas de actividad microbiana en una pila de compost

- **Volteo**

Debido a las zonas que componen una pila de compost, el volteo tiene como objetivo preparar las condiciones ideales para el proceso de compostaje. Mediante el volteo se debe lograr:

Abastecimiento de oxígeno a los microorganismos.

Homogenización para garantizar condiciones uniformes en todo el material.

- **Cribado**

Es el proceso de colar o cernir el producto final ya maduro, con el objetivo de homogenizar el tamaño de la partícula, para que tenga mejor apariencia, sobre todo si se va a comercializar. El tamaño granular está en dependencia de su uso, según el suelo, existen compostes de diferentes tamaños granulares. Puede hacerse con una malla de cedazo o zaranda.

En esta fase el compost debe tener un contenido de humedad óptimo, que debe ser por el orden del 25% o menos si se va a almacenar en sacos y del 25% al 35% si se va a almacenar a granel.

Dimensiones y formas de las pilas y muelles o hileras sugeridas para la Digestión aerobia de la materia orgánica (composting. Goteen).

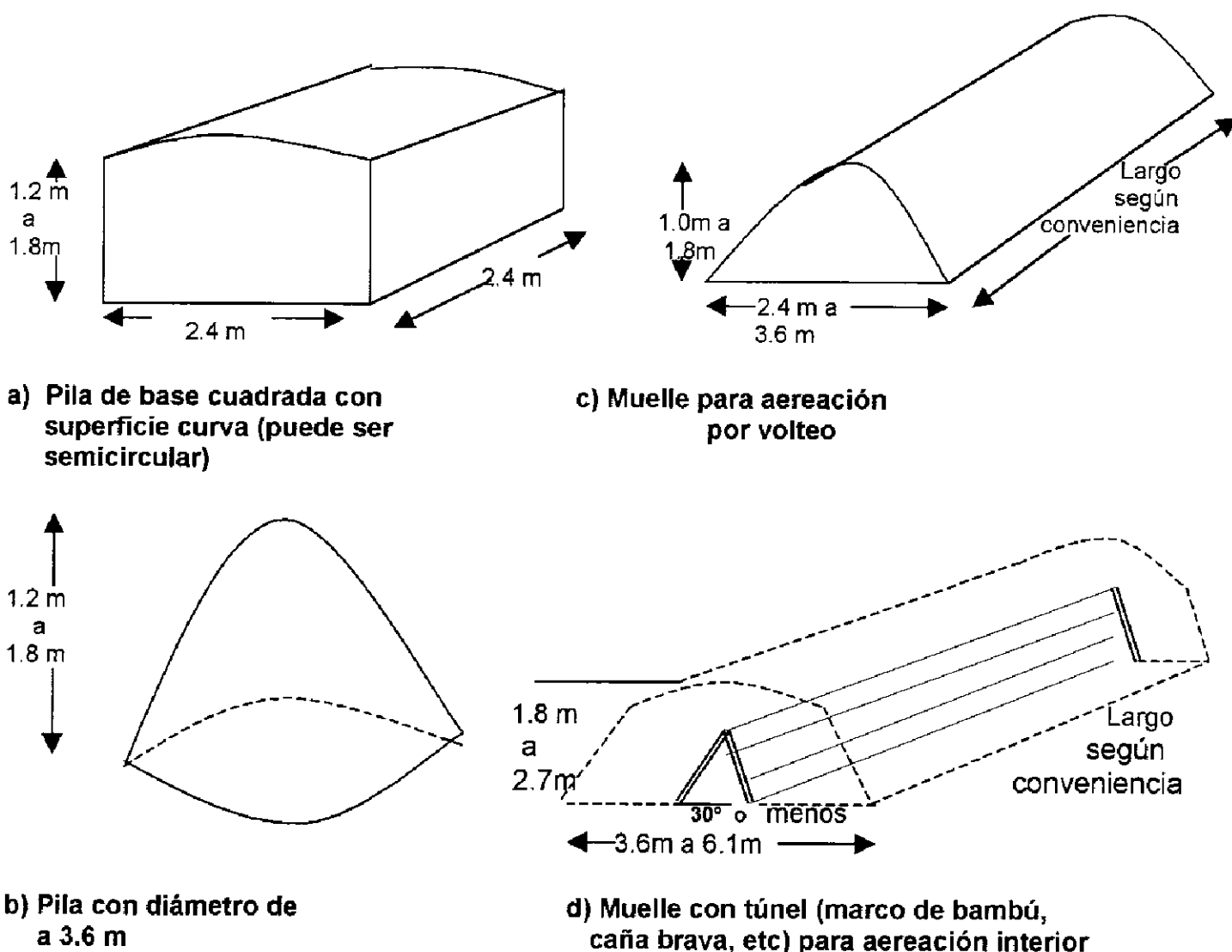


Figura 9. Tipos y dimensiones de diferentes pilas de compostaje

• Ventajas del compost

El compost tiene muchas ventajas. Una de las bondades más grandes es que reduce enormemente el volumen de los desechos sólidos y los gastos de transporte si se ha de utilizar un relleno sanitario, lo que significa que si un relleno tiene como vida útil 20 años, con la compostación se aumenta cuatro veces aproximadamente, o sea se reduce el área requerida a la cuarta parte.

También es importante mencionar, que los suelos de los países tropicales poseen un bajo contenido de materia orgánica, además, ante el abuso de agroquímicos utilizados como abono en los sistemas tradicionales de producción agrícola (degradan los suelos y destruyen la biota), es necesario buscar alternativas que sean amigables con el medio ambiente, y que resguarden y protejan los suelos para las generaciones venideras. Una opción muy viable es la utilización de materiales no contaminantes para la producción de abono orgánico.

Otras ventajas son las siguientes:

- Tratamiento intermedio para la recuperación de un recurso natural.
- Facilita la recuperación de productos como vidrio, papel, plástico.
- Altamente posible en países donde los desechos poseen un alto contenido de biomasa.
- Mejora la estructura de los suelos, la porosidad y la densidad. Creando así un mejor ambiente para la raíz de la planta.
- Aumenta la infiltración y permeabilidad de suelos densos. Reduciendo la erosión y las avalanchas.
- Mejora la capacidad para absorber el agua. Reduce la pérdida de agua y de lixiviados en suelos arenosos.
- Proporciona una variedad de macro y micro nutrientes. Cuyos elementos principales y trazas se presentan en formas más accesibles para las plantas, garantizando así un abastecimiento balanceado. Este material se degrada paulatinamente y no se pierde como en el caso del Completo.
- Puede controlar y suprimir varios problemas patógenos causados por el suelo en las plantas. Aumentando así la resistencia en contra de las plagas.
- Mejora la capacidad de intercambio de cationes de los suelos y el medio ambiente, lo que contribuye a la absorción de nutrientes.
- Proporciona microorganismos al suelo y al medio de crecimiento.
- Puede atrapar y degradar contaminantes específicos.
- Aplicación en todas las fases de desarrollo y en cualquier cultivo.
- Ahorro de divisas.
- Creación de fuentes de empleo

3.9 UTILIZACIÓN DEL COMPOST

El Cuadro 7 ilustra la dosificación para la aplicación del compost que se elabora en Masaya. Actualmente se producen entre 70-100qq al día, con la tendencia a aumentar. El abono con valor de C\$15.00 contiene 1.93% de Nitrógeno, 1.36% de Fósforo y 1.29% de Potasio, enriquecido con Tacrefol y desechos líquidos de rastro.

Cuadro 7. Aplicación compost (qq/mz)

Cultivo	Abono (15 C\$/qq)	Abono (13 C\$/qq)
Maíz, Frijol	13	18
Arroz	9	12
Aguacate (mayor de 8 años)	9	12
Soja, tomate	25	32
Ajonjolí al año	61	82
Pitahaya, Piña	175	230
Café al año	175	230
Mango	5 libras/árbol	7 libras/árbol

3.10 LA PULPA DE CAFÉ

3.10.1 Composición química

La pulpa de café es la parte de la cereza del café, formada por el epicarpio o película roja exterior y casi toda la totalidad del mesocarpio o capa de tejido blando que rodea el endocarpio o pergamino. Constituye el 40% del fruto y donde se concentra la mayor parte de los nutrientes o alimentos que la planta ha absorbido del suelo durante el período de desarrollo y producción.

La pulpa se desprende del grano en la fase inicial del beneficio o sea al comenzar el conjunto de operaciones que se ejecutan luego de cosechar el fruto, para preparar el producto (grano que se lleva al mercado).

Las concentraciones de macronutrientes como Potasio, Calcio y Fósforo están en mayor cantidad en la pulpa que en el propio grano de café, además contiene elementos menores Magnesio, Azufre, Hierro, Manganeso y Boro, todos estos elementos en pequeñas cantidades. Según análisis realizados a la pulpa de café se estima que 100 libras de pulpa descompuesta equivalen a 10 libras de fertilizante químico, fórmula 14-3-37 (Plan de tratamiento integral de los subproductos del café. ALMAT/BIOMAT. 1993).

Su composición química , con base en varios análisis químicos efectuados en Colombia y Centro América (Suárez, F. 1980), es la siguiente:

Humedad	74	a	78 %
Materia orgánica	90	a	92 %
Nitrógeno Total	1.4	a	1.9 %
Fósforo Total (P ₂ O ₅)	0.30	a	0.35 %
Potasa (K ₂ O)	3.5	a	3.7 %

El alto contenido de materia orgánica, que es mayor del 90%, la hace muy valiosa para utilizarse como abono orgánico, ya que proporciona al suelo lo que ningún fertilizante químico puede hacer: incorporación de materia orgánica. Debido a esto es altamente contaminante si se deposita en los ríos u otro cuerpo de agua.

3.10.2 Cantidad que se produce en América Latina

En la actualidad, se calcula que en América Latina se producen anualmente alrededor de 3,3 millones de toneladas de pulpa fresca. La mayor parte de este material se pierde, arrojándose a los ríos y creando problemas, en ocasiones graves, de contaminación de las corrientes de agua.

3.10.3 Valor de la pulpa como abono

En experimentos llevados a cabo en Colombia (Chinchina y Blonay), Brasil y Centro América, se ha comprobado que la pulpa de café es un valioso abono orgánico cuya aplicación produce aumentos significativos en la producción de café y otras plantas de valor económico. Se han registrado aumentos del 80 al 300%, sobre los correspondientes testigos, en la producción de cafetos a los cuales se les han aplicado entre 5 y 10 kilos de pulpa por año; su efecto ha sido mayor que la aplicación de varios fertilizantes químicos. Ha sido también mayor que el de la aplicación de mantillo y abono de establo.

Además, se ha encontrado que la aplicación de materia orgánica en general y de pulpa de café en particular, produce efectos benéficos en el control de algunas plagas como los nemátodos. Posiblemente por la inoculación que se hace de gran número de organismos predatorios los cuales se alimentan de los parásitos y reducen en muchos casos la población de éstos hasta niveles no perjudiciales para la planta.

3.10.4 Factores que dificultan el uso de la pulpa como abono

Hay varias circunstancias que dificultan la eficaz utilización en América Latina de tan valioso abono. En el caso de Centro América, la mayor parte de la cosecha de café se despulpa, fermenta y seca en unos pocos centenares de beneficios de gran tamaño. El cultivador de café vende su cosecha en cereza, y por lo tanto tiene luego que acarrear la pulpa desde el beneficio hasta su finca. Como este

transporte no puede hacerse durante la época de la cosecha, por estar ocupada toda la mano de obra disponible en la recolección, la pulpa se almacena en los beneficios, en grandes zanjas que luego de llenarlas se cubren con tierra. Al terminar la recolección y beneficio del café, comienza a sacarse esa pulpa, que no ha sufrido ninguna clase de descomposición sino que ha permanecido ensilada, para utilizarla como abono. El material tiene entonces hasta un 75% de humedad, lo cual encarece su transporte.

Al llevar la pulpa a las fincas, si no se dispone inmediatamente de mano de obra libre, se amontona en los patios, en ocasiones hasta por varias semanas; convirtiéndose así en criadero de mosca doméstica, insecto que constituye un peligro para la salud de la población. Estas dos circunstancias dificultan la utilización amplia de la pulpa en los cafetales, pues encarecen su transporte, por una parte y obligan a los gobiernos a mantener restricciones y vigilancia sobre la manera como se maneja el subproducto. A pesar de estas limitaciones algunos cafetaleros usan la pulpa de café como fuente de abono orgánico. En el caso de Colombia en donde, en general, aún las fincas mas pequeñas benefician el café que producen, es más fácil almacenar el material en fosas sencillas para luego transportarlo paulatinamente a los cafetales.

- ***Uso de la pulpa como abono***

Es posible descomponer la pulpa mediante un sistema Indore para hacer con ella un composte. Sin embargo, el procedimiento no es muy práctico para Centro América por las circunstancias ya anotadas. En Colombia la Federación Nacional de Cafeteros recomienda un sistema de fosas de descomposición en donde la pulpa se mezcla con otros residuos de la finca. La pulpa fresca, o más o menos descompuesta, se debe aplicar regando de 5 a 10 kg alrededor de cada cafeto, sin que quede contra el tronco ni amontonada, e incorporándola ligeramente al suelo con un rastrillo de dientes.

Al proyectar abonar una finca es mejor desarrollar el trabajo por “ tablones” de manera que aunque no se cubra la superficie total en un año, se tenga la seguridad de poder regresar cada dos o tres años al mismo lote. Este procedimiento ordenado permite también formarse una idea del efecto que tenga el tratamiento sobre la producción. Con las dosis aconsejadas, la pulpa que produce 5 a 10 hectáreas de cafetal alcanza para abonar una hectárea. Resulta también muy conveniente combinar la fertilización química anual con un abonamiento orgánico cada dos o tres años. En ese caso, toda la pulpa que vaya a usarse se pone en la primera abonada. Este sistema tiene la ventaja de evitar que el pH del suelo se baje por efecto de las sales químicas que se le aplican y asegura una ampliación del período de disponibilidad de los nutrientes para la planta.

Dado los precios actuales de los fertilizantes químicos, y la necesidad de importarlos, en buena proporción, es de particular importancia utilizar al máximo los subproductos que, como la pulpa de café, son valiosas fuentes de nutrientes para las plantas.

En las zonas cafetaleras de Nicaragua, se estima que por el orden del 60% de la contaminación ambiental la genera la pulpa del café (ALMAT/BIOMAT 1993).

IV DISEÑO METODOLOGICO

4.1 TIPO DE ESTUDIO

El estudio se clasificó como experimental y de desarrollo tecnológico.

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LA CIUDAD DE JINOTEPE

4.2.1 Ubicación

La ciudad de Jinotepe está ubicada en la Meseta de los Pueblos, del departamento de Carazo; se encuentra localizada a 48 km al oeste de la ciudad capital. Con una altitud promedio de 569.09 msnm, entre 11° 50' latitud norte y 86° 11' longitud oeste.

Tiene una extensión de 292 km², equivalente a 365 hectáreas. Limita al norte con San Marcos, al este y sudeste con los municipios de El Rosario y Santa Teresa, al noroeste con Dolores y al oeste con Diriamba.



4.2.2 Población y viviendas de la ciudad

Actualmente la ciudad de Jinotepe cuenta con una población de 38,000 habitantes. El área urbana está constituida por 6, 336 viviendas distribuidas en 26 barrios, con un área de 225 hectáreas aproximadamente, teniendo una densidad de población de 167 habitantes/hectárea.

4.2.3 Actividades económicas

La actividad económica está dividida en tres sectores:

- Sector Primario: La agricultura
- Sector Secundario: La industria
- Sector Terciario: Comercio, servicios públicos y privados

La actividad productiva está centrada en el comercio y los servicios. La industria es poco desarrollada, existen algunos trillos arroceros, ensamblajes de bicicletas e industrias de tipo artesanal que no cuentan con instalaciones físicas mayores.

La población económicamente activa (P.E.A.) para el año 1995 es de 4,614 habitantes, de los cuales el 36,89% está laborando en el sector primario, el 21,62% en el sector secundario y un 41,49% en el sector terciario.

4.2.4 Subdivisión administrativa

La ciudad de Jinotepe para efectos de organización administrativa y mantenimiento está dividida en cuatro barrios, dos colonias y veinte repartos, en un área total de 225 hectáreas y una población de 38,000 habitantes, con una densidad promedio de 167 habitantes/ hectárea.

4.2.5 Recolección de residuos sólidos

La municipalidad de Jinotepe presta el servicio de recolección de los desechos sólidos tres veces por semana. Está dividida en dos sectores, en el norte la realiza los lunes, miércoles y viernes, y en el sur los martes, jueves y sábados. El promedio de desechos recolectados mensualmente es de 1,288 m³ (dato proporcionado por la alcaldía). Así como también la alcaldía presta el servicio de limpieza de 532 cuadras del área urbana.

El municipio cuenta con dos sitios de disposición final de los desechos sólidos, ubicados al sur del hospital regional y detrás del cementerio central, ambos son a cielo abierto, en los cuales se realiza la quema de los mismos.

4.2.6 Producción de desechos sólidos

Los datos de producción de desechos sólidos per cápita se obtuvieron durante seis días de recolección en los barrios San José y San Antonio de la ciudad de Jinotepe en los diferentes estratos sociales. Así mismo, se determinó la densidad suelta de los desechos sólidos producidos en cada estrato en la ciudad de Jinotepe.

4.3 MONTAJE DE PROYECTO PILOTO DE COMPOSTADO MANUAL

El experimento de compostación se realizó manualmente por descomposición aeróbica.

4.3.1 Separación de los desechos biodegradables de los no biodegradables

Esta actividad se realizó en el sector Noroeste contiguo a la ciudad, en el lugar conocido como el Bosquecillo de Eucaliptos, frente al botadero ubicado detrás del cementerio central.

Se construyó una caseta de 100 m² de superficie, con estructura de madera y techo de Zinc, con su respectivo rótulo (Foto 4). Se instaló agua mediante una conexión con la red urbana, distante aproximadamente 250 m del sitio del experimento.



Foto 4. Caseta

La separación de los desechos se hizo de forma manual, con trabajadores de la Alcaldía, esparciendo los desechos en el suelo y extrayendo los elementos no biodegradables, que fueron depositados posteriormente en el vertedero municipal.

4.3.2 Construcción de las pilas de compostado

Se construyeron cinco pilas rectangulares en paralelo de 5 m de largo por 2.40 m de ancho por 1.40 m de alto (Figura 10), conforme la revisión de literatura. Es importante mencionar que las dimensiones de ancho y alto son las mismas utilizadas por Argüello, M. 1994, variando solamente en la forma de las pilas (Fotos 5, 6, 7, 8 y 9).

Las cinco alternativas son las siguientes:

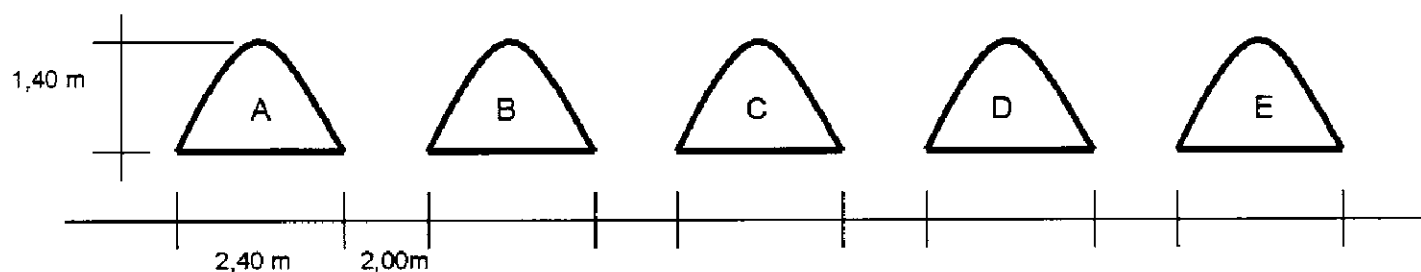
- Pila A: desechos orgánicos municipales con techo.
- Pila B: desechos orgánicos municipales con pulpa de café (temporada) con techo.
- Pila C: desechos orgánicos municipales sin techo.
- Pila D: desechos orgánicos municipales con pulpa de café sin techo.
- Pila E: pulpa de café sola sin techo.

Las pilas de compostado se conformaron con los desechos orgánicos de cada día y la pulpa de café proporcionada por el Beneficio Santiago, la cual se encontraba en un estado de semi-descomposición.

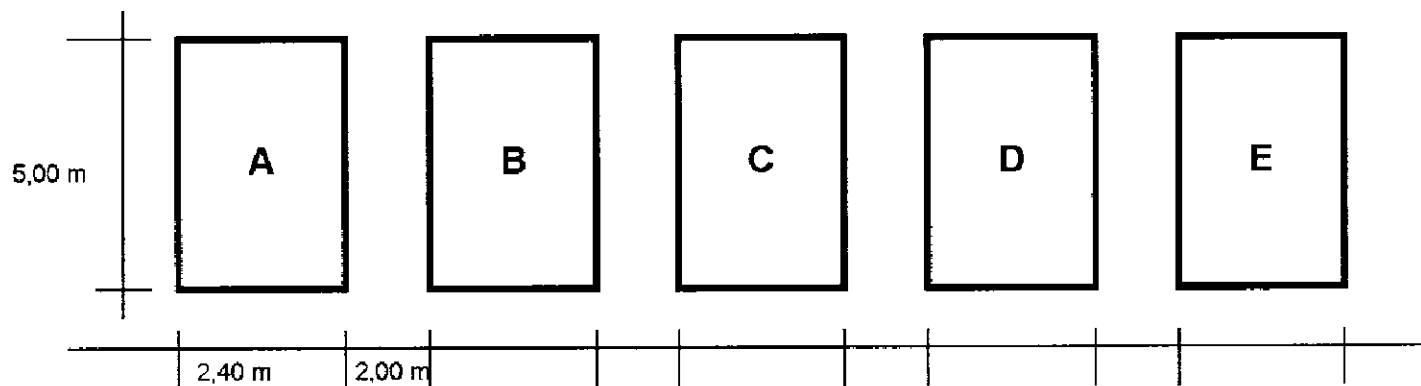
Se fueron formando las parvas colocando los materiales en capas de 0.20 m, según las alternativas a estudiar, hasta completar las dimensiones requeridas para la experimentación.

Para la construcción de las pilas se conformó el terreno de tal manera que el drenaje fuera suficiente para no inundar el área del experimento, con el propósito de que la cantidad de lixiviados se minimizara y no se produjera descomposición anaeróbica.

Elevación de las Pilas



Plantas de las Pilas



Elevación de las Pilas B y D

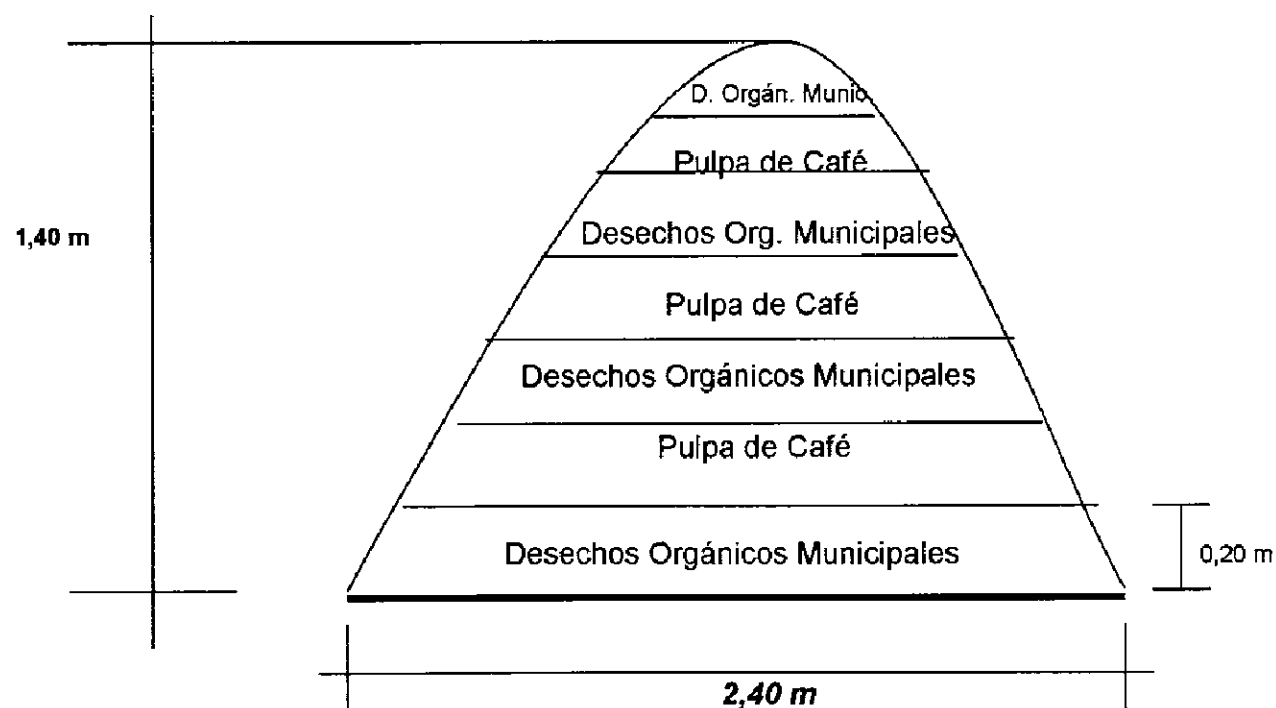


Figura 10. Esquema de las pilas de Compostado



Foto 5. Pila A: desechos orgánicos municipales con techo.



Foto 6. Pila B: desechos orgánicos municipales con pulpa de café con techo



Foto 7. Pila C: desechos orgánicos municipales sin techo



Foto 8. Pila D: desecho orgánicos municipales con pulpa de café sin techo



Foto 9. Pila E: pulpa de café sin techo

4.3.3 Control de parámetros físicos

- ***Temperatura***

La temperatura se controló desde el inicio del proceso en todas las pilas, tomándola a diferentes profundidades en días alternos. Se utilizaron primeramente termómetros de mercurio de cristal de 50 cm de longitud, obtenidos en el comercio local, pero se rompieron casi de inmediato. Fueron sustituidos por termómetros metálicos de un metro de longitud de fabricación rusa, más resistentes, que se utilizan para tomar la temperatura del suelo, facilitados por el INETER.

- ***Contenido de agua***

Las pilas se regaron con manguera para mantener condiciones de humedad apropiada, se realizaron cinco muestreos puntuales de los cuales se hizo análisis de contenido de humedad. Sin embargo, regularmente este parámetro se controló de forma artesanal mediante la prueba de puño (Foild, N. et al, 1994) (Foto 10).



Foto 10. Prueba del puño

- ***Tamaño de las partículas***

En el proceso de compostación este parámetro físico es muy importante, debido a que de él depende en gran medida el tiempo de descomposición. De tal manera que con el propósito de garantizar un tamaño homogéneo de partículas, se instaló una trituradora manual, con la que se cortó desechos muy grandes como el pinzote del banano, el tallo de las piñas y otros (Ver Foto 11).

- ***Mezcla o Volteo***

El volteo se realizó de forma manual con palas y tridentes, tomando como indicador la temperatura.



Foto 11. Trituradora Manual

4.3.4 Medida de la precipitación pluvial

La precipitación se midió todos los días, desde su instalación aproximadamente un mes después de iniciado el proceso, utilizando un pluviómetro tipo Hellman, facilitado por INETER (Foto 8).

4.4 MUESTREO

- **Sitios**

Se tomó tres muestras en cada pila, en diferentes puntos tratando de obtener una muestra lo más homogénea posible. Se llevaron al laboratorio de Biomasa de la Universidad Nacional de Ingeniería, en el Recinto Pedro Aráuz Palacios.

En el laboratorio, las tres muestras de cada pila se revolvieron, se trituraron en un molino y se realizaron tres análisis de cada parámetro.

- **Tiempo**

Se realizó un total de cinco muestreos puntuales. El primero fue con material fresco o sea de aproximadamente cuatro días de degradación. Después se tomaron muestras cada tres semanas, hasta finalizar el proceso. Por último se muestreó el producto final (Fotos 12 y 13).



Foto 12. Toma de muestras



Foto 13. Muestras listas para llevar al laboratorio

4.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS MUESTRAS

Los métodos de análisis químicos que se utilizaron en el estudio son los que se practican con las técnicas y equipos existentes en el Laboratorio de Biomasa de la UNI. Las principales variables que se analizaron fueron las siguientes:

- ***Sólidos volátiles***

Calcinación a 550°C más o menos 25°C durante 5 horas.

- ***Materia orgánica degradable***

El valor obtenido de carbono orgánico se multiplicó por un factor 2.

- ***Carbono orgánico***

Solución de Dicromato de potasio y medición en fotómetro a 578 nm.

- ***Nitrógeno orgánico***

Método Kjeldahl (digestión con ácido sulfúrico y catalizador (mezcla reactiva de Selenio) y destilación con hidróxido de sodio.

- ***Nitrógeno nítrico***

Reducción con aleación Devarda y destilación con hidróxido de sodio.

- ***Nitrógeno amoniacal***

Destilación con hidróxido de sodio.

- ***Fosfato y potasio total***

Digestión seca con Selenio, ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno usando reactivo de Vanadatamolibdato para la coloración. El fósforo se determinó en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 430 nm. El potasio se determinó en un fotómetro de llamas. Coloración: método azul de molibdeno.

- ***Fosfato y Potasio disponible***

Se usa solución extractora CAL. El fósforo disponible se determinó en un espectrofotómetro usando heptamolibdato de amonio, para el desarrollo de color, a una longitud de onda de 690 nm. El potasio disponible se determinó en un fotómetro de llamas.

- ***Magnesio***

Se analizó también el contenido de Magnesio al producto final. Este análisis se hizo en el Laboratorio de suelos y aguas de la Universidad Nacional Agraria, debido a que en la UNI no se realiza este tipo de análisis.

- ***Contenido de agua***

Secado en un horno a 105°C más o menos 3°C.

- ***Capacidad de absorber agua***

Saturación capilar de la muestra y escurrimiento de la misma. Luego, secado al horno por el método descrito anteriormente.

- ***Densidad húmeda***

Se determinó el volumen y peso de la muestra de un cilindro de 1000 ml.

- ***Valor pH***

Se usó una solución de cloruro de calcio dihidratado y se determinó por vía electrométrica.

- **Conductividad**

Se agitó la muestra en agua, se filtró y se determinó con un conductímetro.

4.6 MÉTODOS DE ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO

Los análisis de coliformes fecales se realizaron solamente con el producto final, es decir, a la última muestra de compost maduro, sin embargo para el conteo de mesófilos se hicieron dos análisis, uno al inicio y otro al final. Se efectuaron en el laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional de Ingeniería, en el Recinto Universitario Simón Bolívar.

- **Coliformes fecales**

El método que se utilizó fue el Standard Methods for the examination of the water and wastewater.

- **Número de unidades de colonias aeróbicas formadas**

Cultivo con agar nutritivo. Tiempos y temperatura de:

22 °C durante 72 horas.

37 °C durante 48 horas.

53 °C durante 24 horas.

4.7 COMPOSICIÓN FÍSICA DE LOS DESECHOS Y DENSIDAD

Se utilizó el método del pastel o cuarteo, fue realizado por Chow y Pineda en su Monografía titulada: *Caracterización y Manejo de los Desechos sólidos de la Ciudad de Jinotepe, Nicaragua. (1996-1997)*. Cuyos resultados se presentan en este trabajo.

4.8 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

El equipo que se detalla a continuación consiste básicamente en el que se utilizó en la investigación principal, es el siguiente: balanza portátil, termómetro y pluviómetro.

Las herramientas que se utilizaron fueron: Trituradora manual, cinta métrica, carretillas de mano, palas, tridentes, machetes, mascarillas, guantes, delantales, mangueras, barriles de 55 galones y bolsas plásticas.

V. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 PRODUCCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS Y DENSIDAD SUELTA

Como un componente de la investigación, se utilizaron los datos obtenidos de la tesis *Caracterización y Manejo de Desechos Sólidos en la Ciudad de Jinotepe* elaborada por estudiantes Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería con la supervisión de la autora de la actual tesis. Algunos de ellos se muestran a continuación.

En el Cuadro 8 se muestran los datos de producción per cápita y en el Cuadro 9 la densidad suelta de los desechos sólidos en la ciudad de Jinotepe.

Cuadro 8. Producción per cápita de desechos sólidos de cada estrato en la Ciudad de Jinotepe

Estrato social	Número de viviendas	Número de habitantes	Producción per cápita (kg/per/día)
Alta	30	152	0.67
Medio	30	173	0.51
Bajo	30	201	0.41
Total/Promedio	90	526	0.53

Se puede notar se tomaron cierto número de viviendas de cada uno de los estratos sociales existentes en dicha ciudad, para determinar con mayor exactitud la cantidad de desechos sólidos que producidos en cada uno de ellos. En el estrato más bajo donde existe una mayor población se da una producción de desechos por persona menor (0.41 kg/per, día), esto tiene que ver básicamente con el poder adquisitivo de dicho sector; seguido del estrato medio (0.51 kg/per, día), y por último con una producción mayor está el estrato social más alto, con 0.67 kg/per, día. Obteniendo un promedio de 0.53 kg/per, día.

Cuadro 9. Densidad suelta de los desechos sólidos de cada estrato en la Ciudad de Jinotepe

Estrato social	Densidad de desechos (kg/m ³)					Promedio
	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	
Alta	247.57	247.99	189.00	173.30	238.73	219.32
Medio	387.94	185.68	294.90	191.32	213.99	254.77
Bajo	301.48	268.57	225.47	201.79	240.39	247.54
Total/ Promedio	312.33	234.08	236.46	188.80	231.04	240.54

5.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS

Un aspecto muy importante en el tratamiento de los desechos sólidos es la determinación de su composición para poder decidir cual será la mejor alternativa de tratamiento para solucionar el problema. En el Cuadro 10 y la Figura 11 se muestran los datos obtenidos en la caracterización de los desechos sólidos.

Cuadro 10. Clasificación de los desechos sólidos producidos en la ciudad de Jinotepe

	Alto (A)		Medio(B)		Bajo (C)		Promedio	
	Lbs	%	Lbs	%	Lbs	%	Lbs	%
Papel y cartón	5.50	8.66	3.80	4.66	2.05	2.91	3.78	5.41
Plástico	6.20	9.15	6.90	8.63	4.70	6.54	5.94	8.11
Metal	0.90	1.34	0.85	1.08	2.30	3.86	1.35	2.09
Tela	0.65	0.96	1.70	2.12	2.60	3.77	1.65	2.28
Vidrio	1.30	2.11	1.20	1.25	0.90	1.36	1.13	1.57
Materia Org.	51.25	77.30	64.85	81.54	57.75	80.11	57.95	79.65
Otros	0.35	0.48	0.70	0.72	0.95	1.45	0.67	0.89
Total	66.15	100	80	100	71.25	100	72.47	100

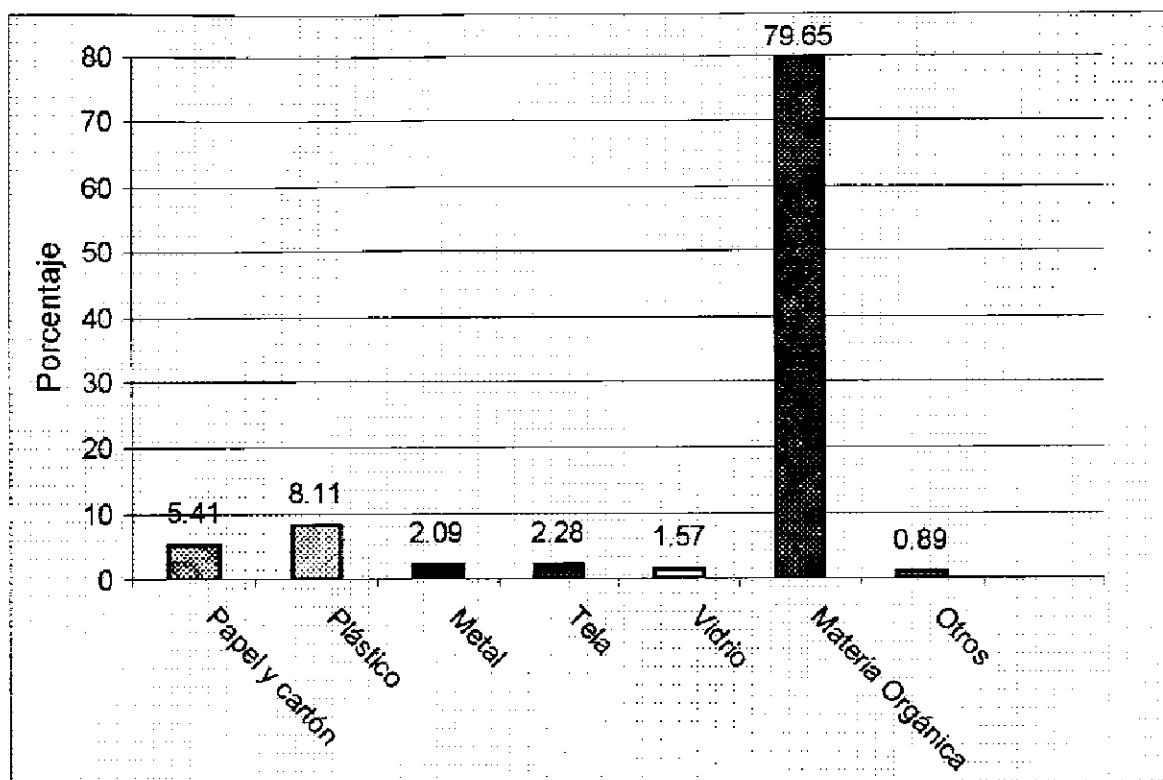


Figura 11. Caracterización de los desechos sólidos de Jinotepe

Como se ve en el Cuadro 10 y Figura 11, la materia biodegradable y/o materia orgánica es la que más se produce en los tres sectores estudiados. Del total de los desechos sólidos producidos la materia orgánica ocupa entre el 77.30 y el 81.54%, lo que viene a ayudar a la teoría de realizar compostación con los desechos sólidos. Si la mayor cantidad de desechos sólidos producidos son biodegradables, una buena alternativa es crear un medio adecuado para su degradación y posteriormente utilizar este producto como abono orgánico en plantaciones desgastadas.

5.3 TEMPERATURA DE LAS PILAS DE COMPOST, HUMEDAD Y PRECIPITACIÓN PLUVIAL

5.3.1 Temperatura de las pilas

La temperatura juega un rol importante en el proceso de compostaje y también es una función del proceso, es decir, de la actividad microbiana y composición de la población activa y viceversa. Por la interacción de varios parámetros (como humedad, aireación, composición de la materia prima) y temperatura, muchas veces es difícil de separar causa y efecto.

En las Figuras 12 y 13, se pueden apreciar el comportamiento de la temperatura de las pilas techadas. En el caso de los desechos municipales se llegó a temperaturas por encima de 60°C y la temperatura por varios días se mantuvo por encima de 55°C como resultado de una buena actividad microbiana, posiblemente por la presencia de suficiente materia orgánica fácilmente degradable y buenas condiciones de aireación. La pila de la mezcla de basura municipal con pulpa de

café llegó solamente a una temperatura máxima de 48°C, lo que se puede atribuir al uso de pulpa que ya tenía un cierto grado de descomposición, cuando se inició el experimento, lo que significa que los compuestos fácilmente degradables ya se habían agotado. Otra razón puede ser la consistencia de la pulpa (más fina, más compacta), la cual no permite (también en dependencia de la humedad) el fácil acceso de la población microbiana a suficiente oxígeno.

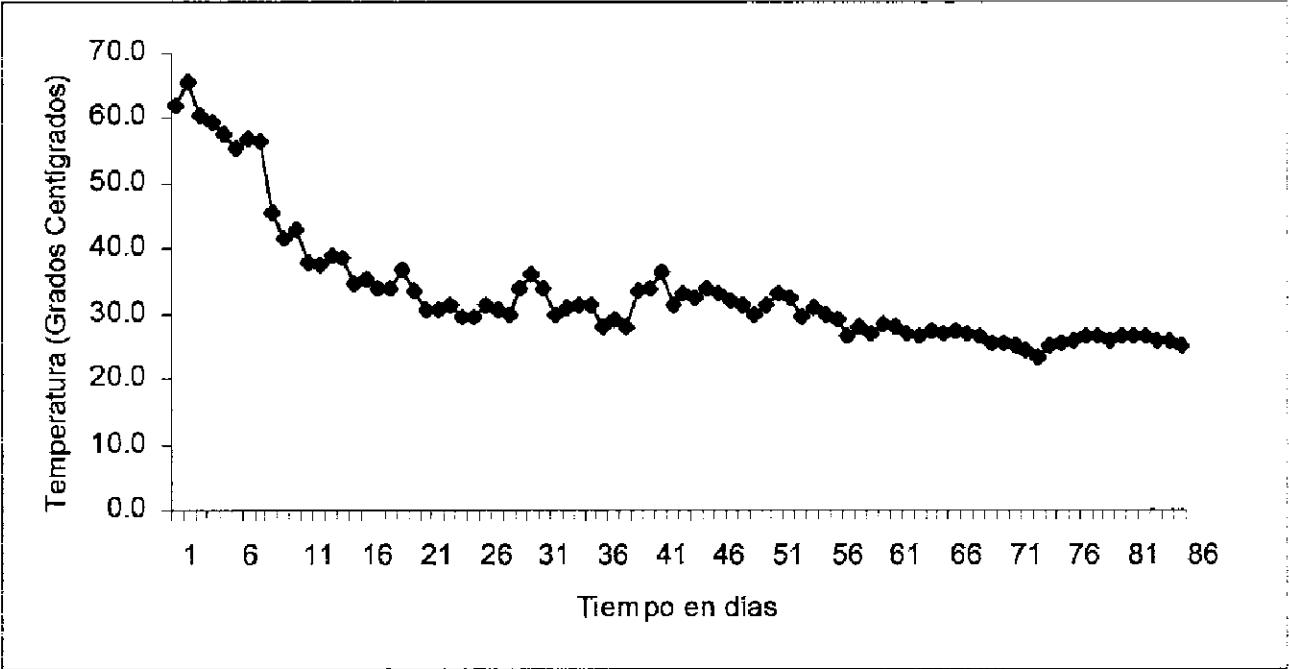


Figura 12. Temperatura pila A, desechos municipales con techo

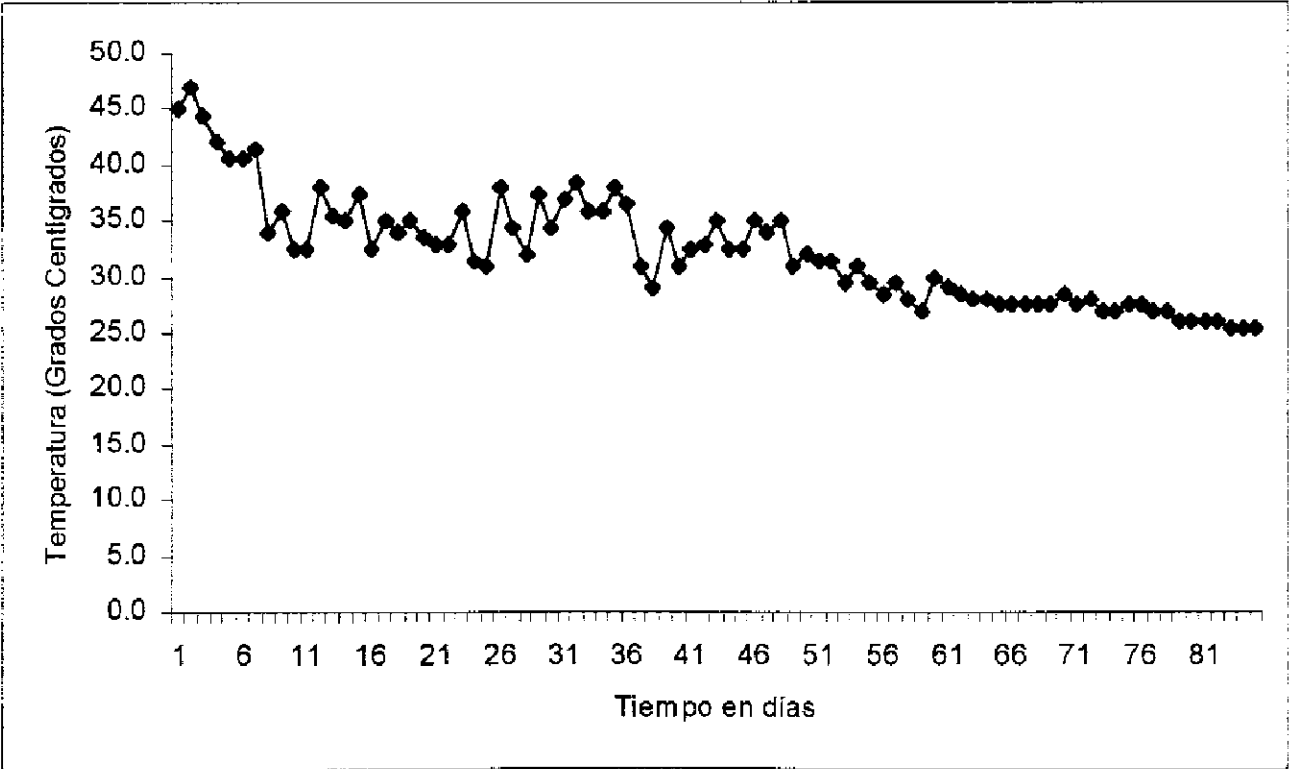


Figura 13. Temperatura Pila B, desechos municipales más pulpa de café con techo

La pila de desechos municipales sin techo (Figura 14) muestra un comportamiento muy similar a la con techo, lo mismo pasa con la pila de desechos municipales con pulpa de café. Las pocas diferencias se deben a cambios más drásticos en la humedad, pero esto se va a discutir en el siguiente capítulo.

El comportamiento menos favorable muestra la pila con sólo pulpa de café, lo que confirma las razones que ya se mencionaron anteriormente (grado de descomposición, estructura, humedad).

Para obtener un compost libre de patógenos humanos, la materia orgánica debe estar expuesta por varios días a una temperatura mayor de 55°C. Esto es sobre todo importante en caso de desechos municipales, no tanto cuando se trata solamente de pulpa de café, en este caso es más importantes examinar eventuales patógenos para plantas.

5.3.2 Humedad y precipitación pluvial

Los valores de humedad solamente se pueden ver como valores puntuales porque fueron determinados solamente, cuando se tomaron las muestras para el análisis físico-químico de las pilas. En caso de las pilas techadas esto no importa tanto por las condiciones más controladas (riego) pero en caso de las otras pilas hay que tomar en cuenta la precipitación pluvial la cual puede llevar a humedades bastante altas, en consecuencia a condiciones anaeróbicas y no solamente a una reducción de la actividad microbiológica sino también a malos olores, lo cual puede llevar a protestas por parte de la población.

✓ Pilas con techo

En pilas techadas el manejo del proceso se llevó a cabo sencillamente a través de riego (humedad) y volteo (oxígeno, humedad).

En el Cuadro 11, se puede ver que en caso de las pilas techadas, la humedad de la pila A siempre estuvo más baja que la de la Pila B. Como la humedad óptima varía entre 50 y 60%, se puede decir que en la pila de desechos municipales había condiciones ideales en el primer muestreo y eso también se expresa en las temperaturas del proceso (Figuras 12 y 13).

Cuadro 11. Porcentajes de humedad de las pilas

Pilas	Muestreos				
	I	II	III	IV	V
A	52.44	47.83	36.97	37.75	24.88
B	68.47	52.35	46.41	67.47	30.93
C	71.74	58.94	52.25	53.68	36.87
D	65.21	67.95	65.25	68.56	35.62
E	76.68	77.17	67.68	67.51	58.86

El contenido de pulpa que por si misma ya tiene un contenido mayor de agua, por su estructura, retiene mejor humedad y por eso hay que tener más cuidado en el riego porque no necesita la misma cantidad de agua que los desechos municipales.

En el tercer muestreo ya llega a un punto (menor del 40%) donde hay una cierta reducción de la actividad microbiológica, pero en este tiempo el compost ya estaba en la fase de maduración (ya había pasado el período del compostaje activo) y es normal la pérdida de humedad en el transcurso del proceso. La pila B en el primer muestreo tenía una humedad bastante alta (68.47%) que puede provocar condiciones anaeróbicas por bloqueo de espacio intersticial con agua, en el cuarto, mostró un alto valor de humedad, por lo que se agregó cierta cantidad de aserrín, (aproximadamente un 10% en volumen) para evitar condiciones anaeróbicas; en el último, el producto final presentó una humedad aceptable.

✓ Pilas sin techo

En caso de las pilas sin techo la precipitación pluvial es un factor hidrometeorológico a tener en cuenta, porque un exceso de lluvia no solamente puede influenciar negativamente en el proceso de compostaje sino también puede llevar a una lixiviación de los nutrientes y por ende a un producto de menor calidad.

En la pila de los desechos municipales el proceso no fue influenciado significativamente por las lluvias como se pudo apreciar en la curva de temperatura. Con una excepción en la fase termofílica el proceso se pudo controlar muy bien por volteo (Figura 14). Esto se confirma en los muestreos puntuales, la humedad de la primera muestra solamente estuvo por encima de la óptima. Este comportamiento se debe a la estructura suelta del material que compone la pila que permite la rápida evaporación del agua.

En caso de las pilas D y E, la humedad al tiempo de los primeros cuatro muestreos siempre estaba por encima del 60%, es decir, por la estructura de la materia prima, la regulación del nivel de humedad sólo por volteo manual no fue satisfactoria, expresándose por ejemplo en ambos casos en un aumento de temperatura después de un volteo eficiente (Figura 15 y 16). El volteo abastece de oxígeno a la población microbiana aeróbica y favorece a la evaporación del agua en tiempo seco (la evaporación se da en la superficie de la pila). Esto significa que en tiempo de lluvias hay que aplicar un volteo muy frecuente.

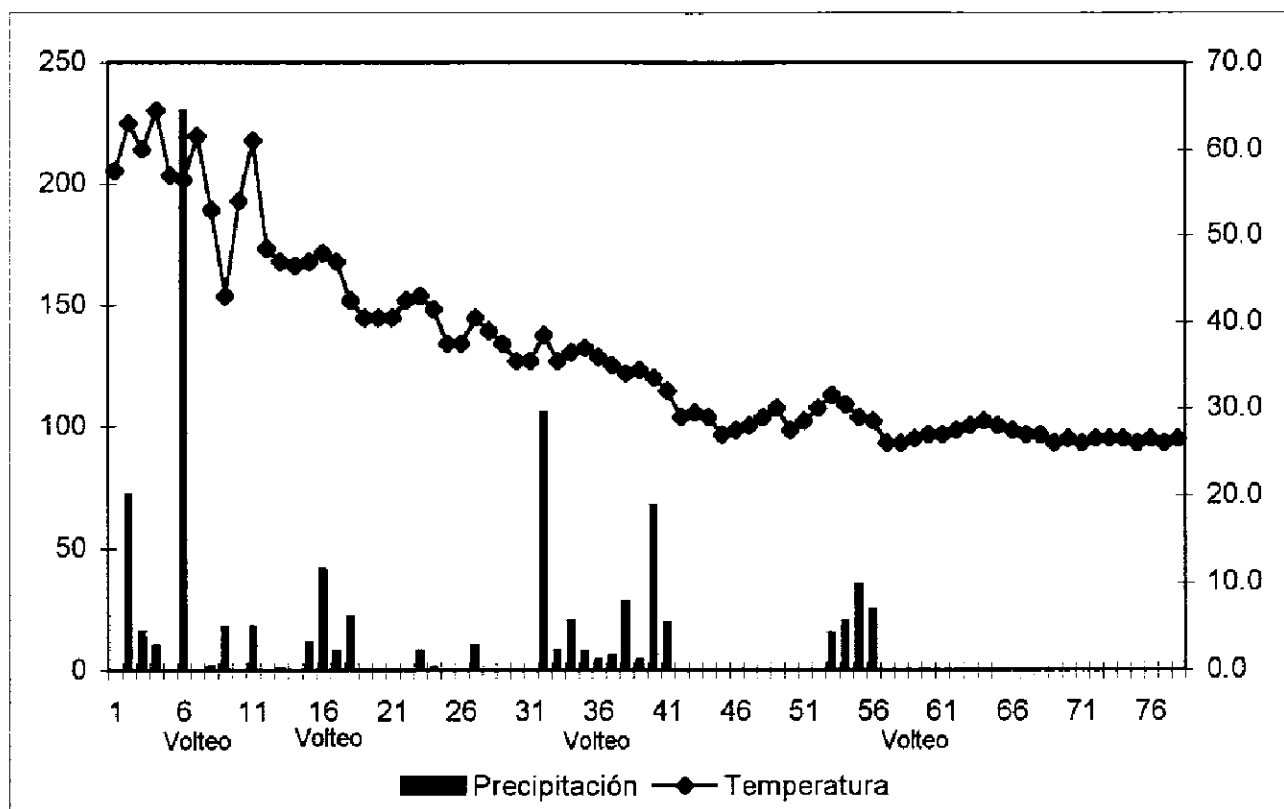


Figura 14. Precipitación versus temperatura de la pila C, desechos municipales sin techo

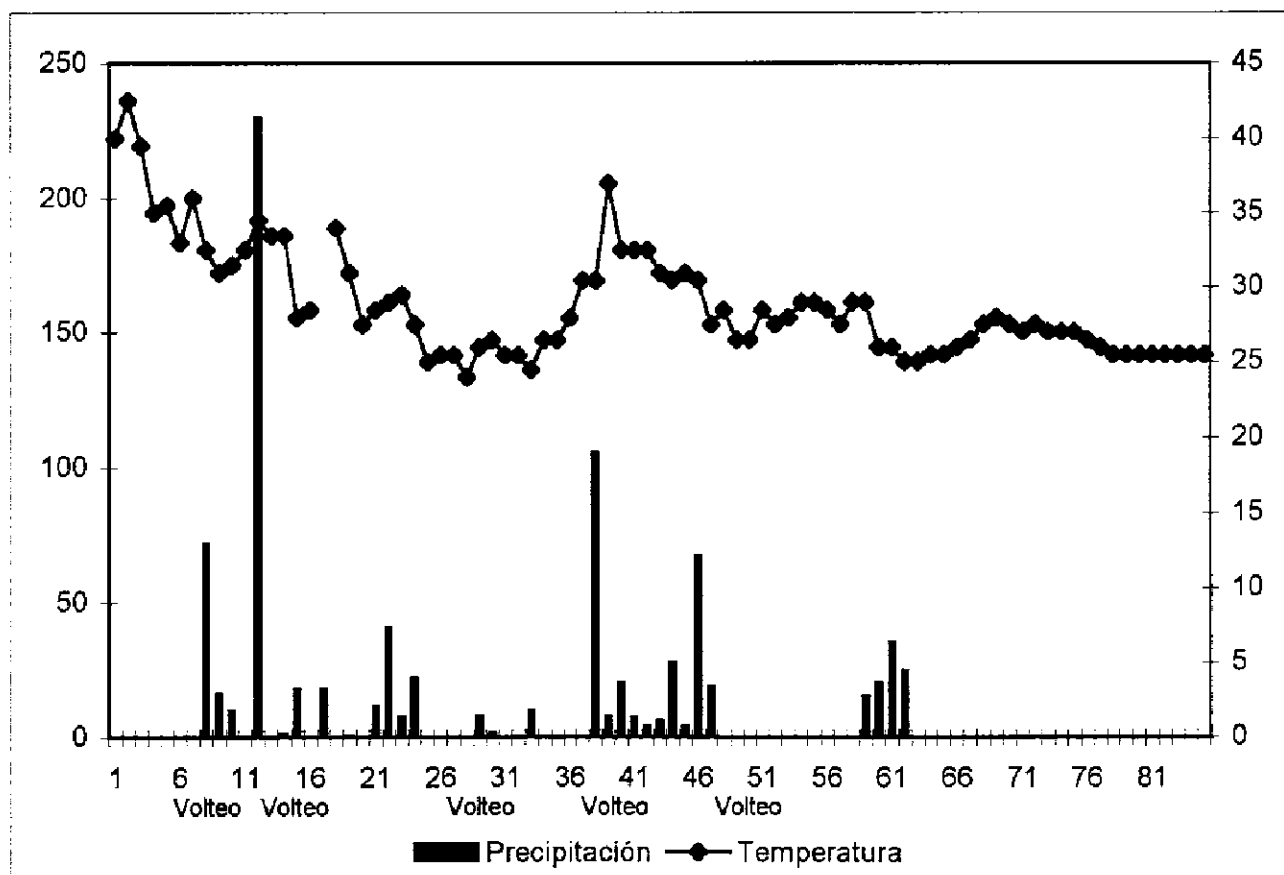


Figura 15. Precipitación versus temperatura de la pila D, desechos municipales más pulpa de café sin techo

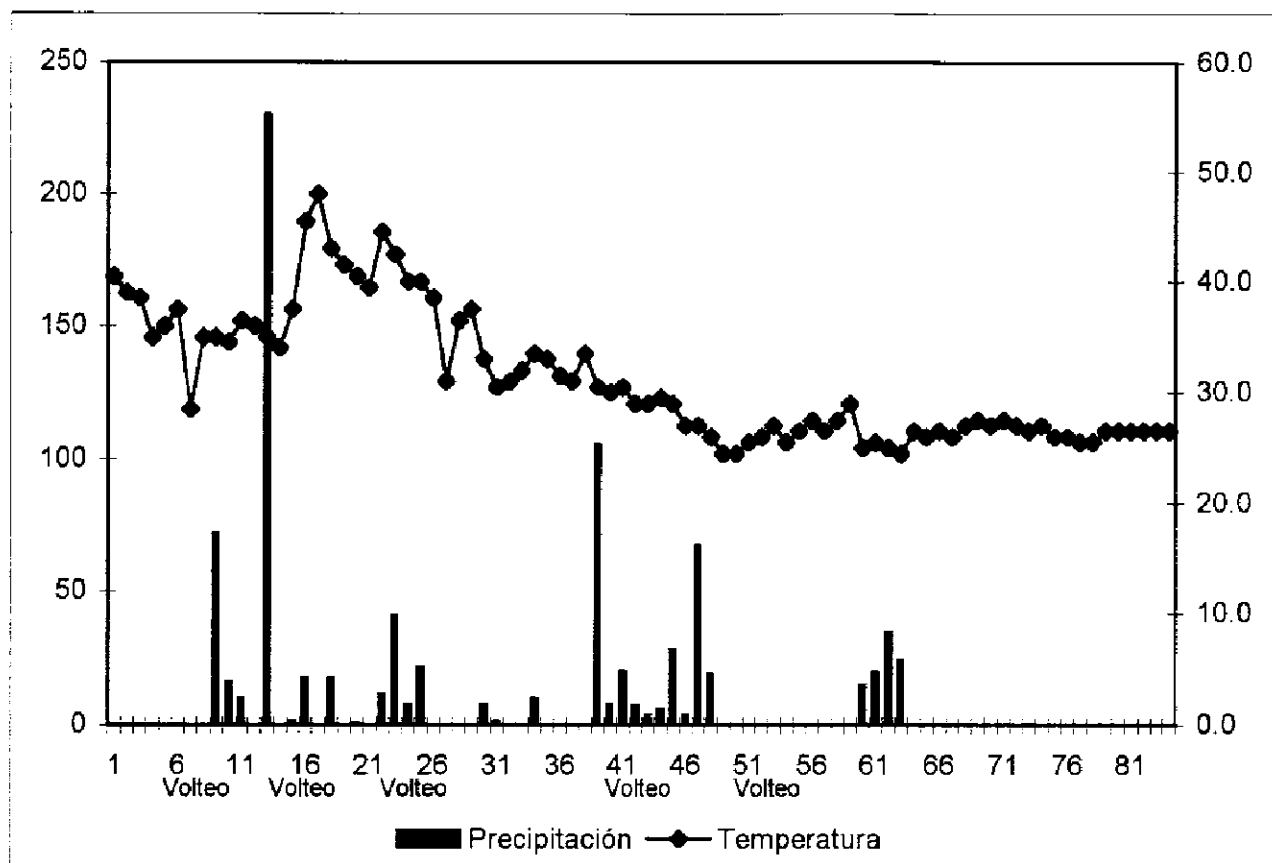


Figura 16. Precipitación versus temperatura de la pila E, desechos de pulpa de café sin techo

5.4 RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS DEL COMPOST

Los resultados de los diferentes muestreos dan una idea del transcurso del proceso de compostaje y permiten identificar los problemas y la solución de los mismos. Los resultados del último muestreo se compararon con las Normas Austríacas de Compostes de Basura, que son las normas más conocidas en Nicaragua.

5.4.1 Materia Orgánica

Las pérdidas de la materia seca total durante todo el proceso de descomposición de la materia orgánica pueden ser del 30% y se debe a la respiración de CO_2 , volatilización de amoníaco y compuestos orgánicos y lavado de minerales con el lixiviado. La mayor cantidad de materia orgánica volatilizada se da en la fase de la mayor actividad de la población microbiana. La pérdida de carbono orgánico en forma de CO_2 puede también ser causada por una relación demasiado alta de carbono/nitrógeno.

Para este trabajo solamente fue posible la determinación de los sólidos volátiles de todas las muestras. El carbono orgánico se analizó únicamente en los productos finales por no haber encontrado un laboratorio ofreciendo este análisis.

En la pila A los sólidos volátiles bajaron constantemente a causa de la mineralización. La pila B experimentó un aumento significativo de los sólidos volátiles, posiblemente por el riego excesivo en la fase del cuarto muestreo (Cuadro 12) y lavado de materia mineralizada. En las pilas sin techo hubo cierto lavado por las lluvias, pero, el efecto no fue tan acentuado como en el caso de la pila B.

Cuadro 12. Sólidos Volátiles

Pilas	Muestreos				
	I	II	III	IV	V
	% (materia seca)				
A	35.24	33.06	21.80	22.97	20.38
B	54.51	37.06	26.89	52.60	31.42
C	48.05	39.04	26.72	28.76	26.74
D	40.04	40.81	35.80	41.60	28.97
E	61.66	68.77	51.30	52.87	46.64

En la Figura 17 se presentan los valores de la materia orgánica degradable al final del proceso.

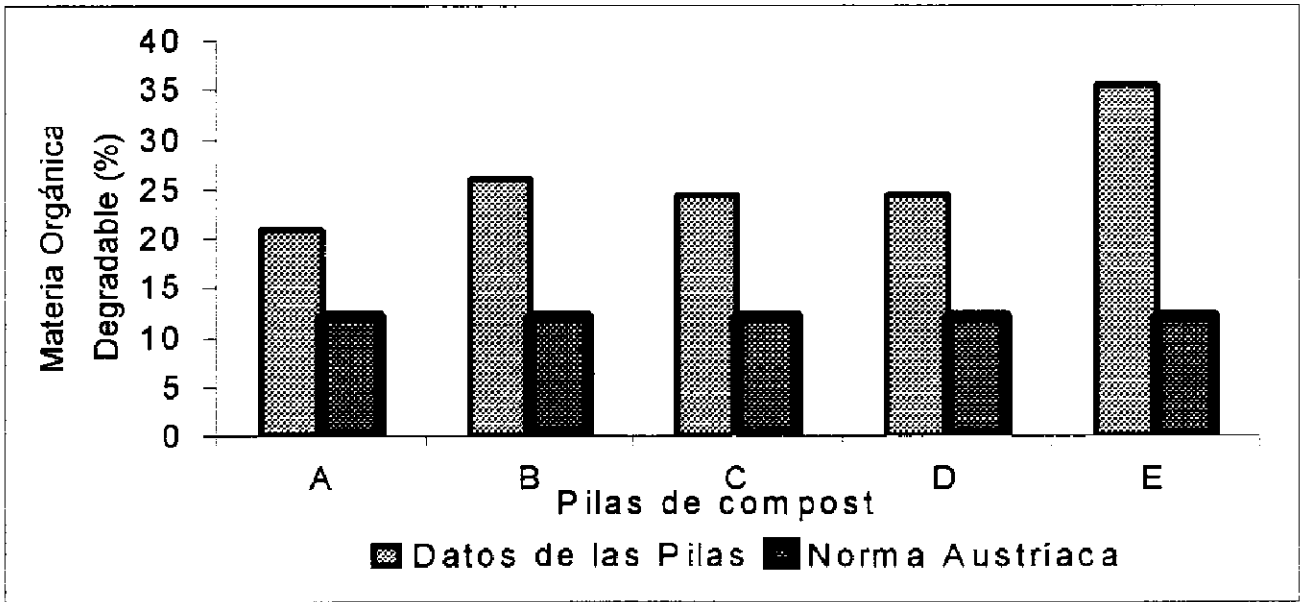


Figura 17. Materia orgánica degradable

- Pila A: Desechos Sólidos Biodegradables con techo.
- Pila B: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café con techo.
- Pila C: Desechos Sólidos Biodegradables sin techo.
- Pila D: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café sin techo.
- Pila E: Pulpa de Café sola sin techo.

Como se puede observar en la Figura anterior todos los datos de las pilas cumplen con la norma austríaca (igual o mayor del 12 %). Sobresale el valor alto de la pila E, que coincide con un alto porcentaje de sólidos volátiles, causado posiblemente por una menor degradación debido a la alta humedad y el empleo de materia prima (pulpa) ya predegradada, la cual posee un alto contenido de materia orgánica. La Figura 18, muestra el carbono orgánico total, puede apreciarse que solamente la Pila A se encontró por debajo de la norma (igual o mayor del 12 %) posiblemente se deba al material de origen.

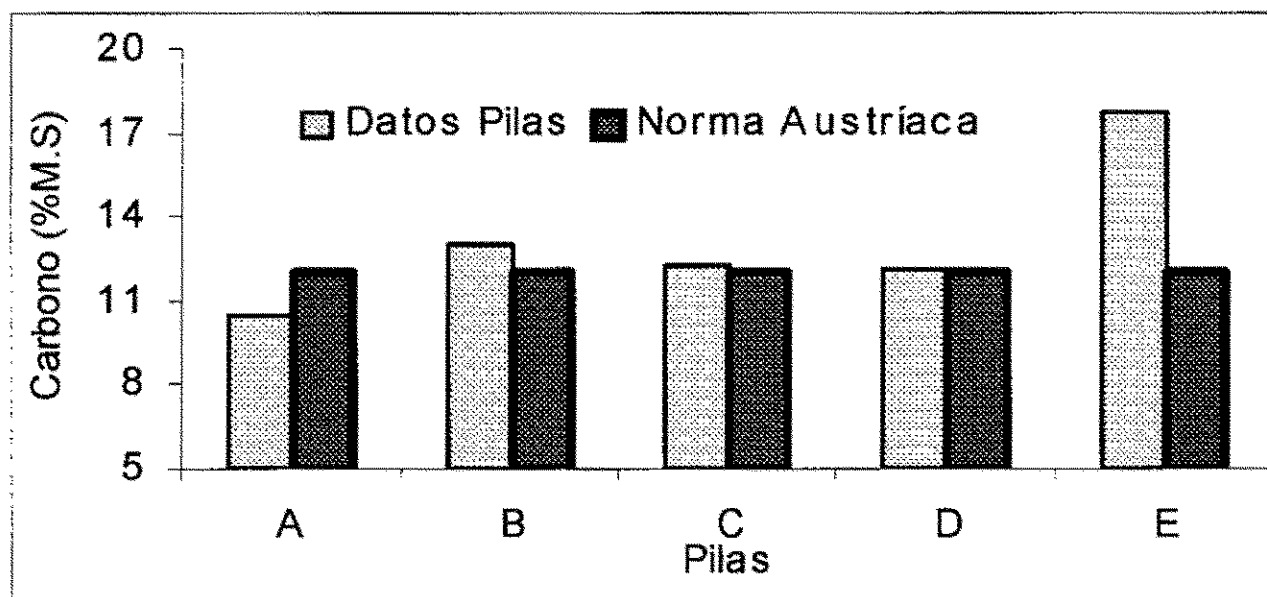


Figura 18. Carbono orgánico total al final del proceso.

Pila A: Desechos Sólidos Biodegradables con techo.
Pila B: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café con techo.
Pila C: Desechos Sólidos Biodegradables sin techo.
Pila D: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café sin techo.
Pila E: Pulpa de Café sola sin techo.

5.4.2 Macronutrientes

Del contenido de nutrientes existentes en el compost depende en gran parte su riqueza, por lo tanto los datos del producto final son de mucha importancia para demostrar su capacidad de ser utilizado como un fertilizante y no solamente como mejorador de suelos, por su alto contenido de materia orgánica. La presencia de estos nutrientes (sobre todo nitrógeno) también es importante para los microorganismos en el proceso de compostaje.

• Nitrógeno

El nitrógeno es el elemento fertilizante que se aplica en los suelos en forma más frecuente y en cantidades mayores que ningún otro elemento, por lo cual una de las características más importantes de un fertilizante orgánico es el porcentaje que tenga de este elemento.

En la Figura 19, se puede apreciar que en todas las pilas hay una reducción constante del nitrógeno total hasta la estabilización del valor en la fase de maduración, y en la Figura 20 se puede observar que en el último muestreo todos los valores de las pilas se encuentran por encima de la norma Austríaca, la cual dice que los valores de Nitrógeno Total deben ser $\geq 0.8 \%$.

En el proceso de compostaje es normal que baje el contenido de nitrógeno total por volatilización de amoníaco y otras sustancias volátiles que contienen nitrógeno así como por lixiviado de sales y otras sustancias solubles en agua. En la fase final del proceso las pérdidas se deben sobre todo a lavado. Las pilas con pulpa de café tuvieron un contenido de nitrógeno mayor en comparación con las pilas de desechos municipales, esto llevó también a concentraciones más altas al final del proceso.

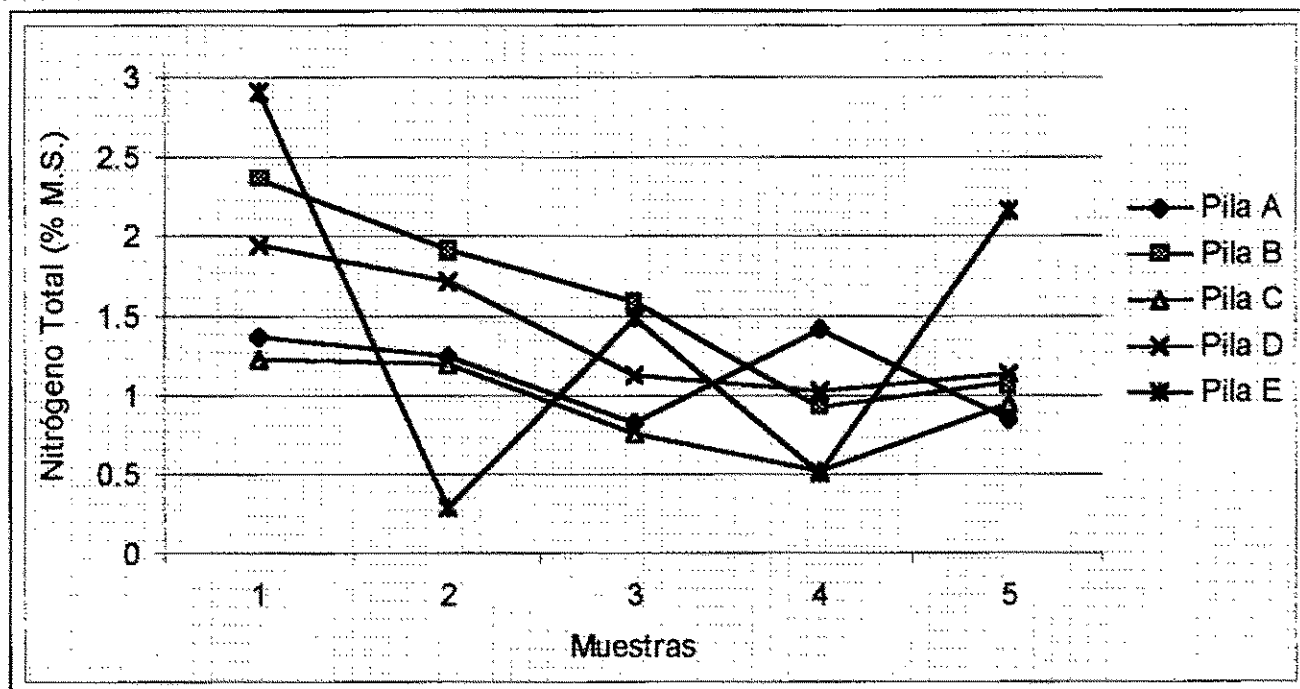


Figura 19. Nitrógeno total durante el proceso.

- Pila A: Desechos Sólidos Biodegradables con techo.
- Pila B: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café con techo.
- Pila C: Desechos Sólidos Biodegradables sin techo.
- Pila D: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café sin techo.
- Pila E: Pulpa de Café sola sin techo.

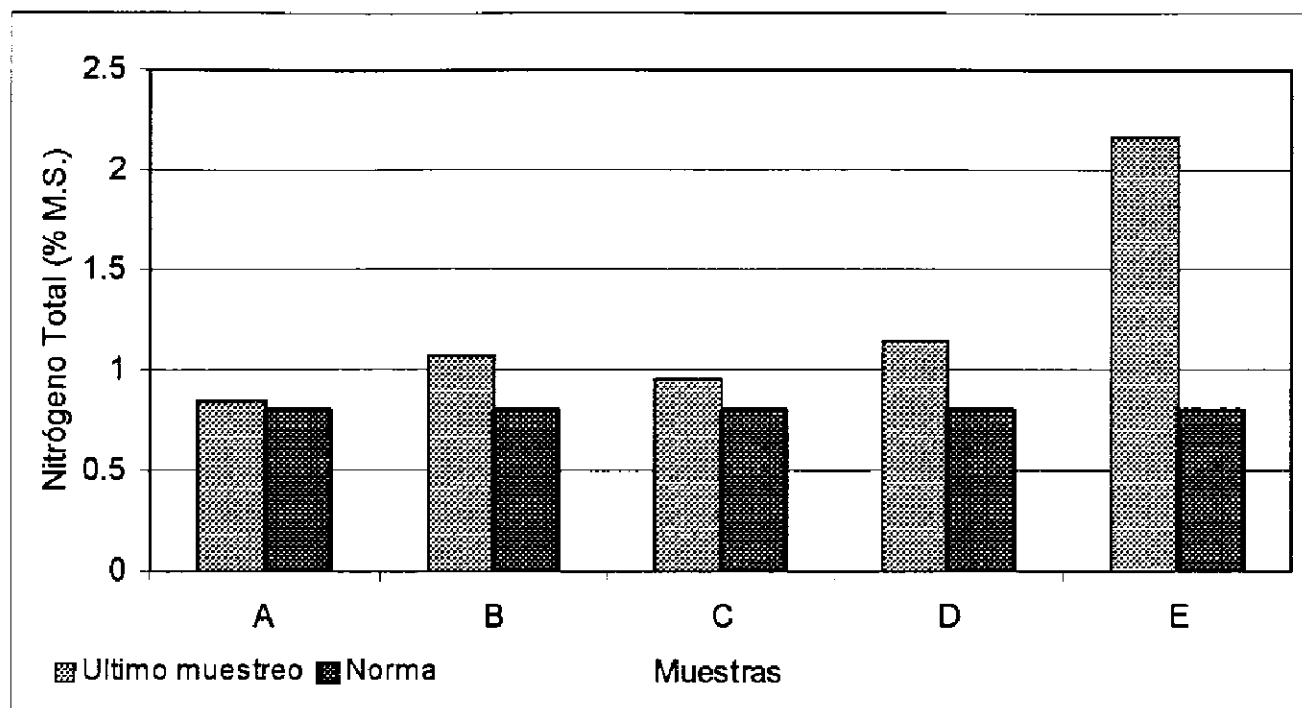


Figura 20. Nitrógeno total al final del proceso.

En la fase más activa del proceso de compostaje se forma amoníaco como producto de degradación. Una parte usan los microbios para la construcción de masa celular, otra se transforma en nitrato (condiciones aeróbicas) y otra parte se pierde por lavado y volatilización. En la fase de estabilización la concentración de amoníaco tiende a cero por ya haber terminado el proceso de degradación activa y pasado también la fase de maduración.

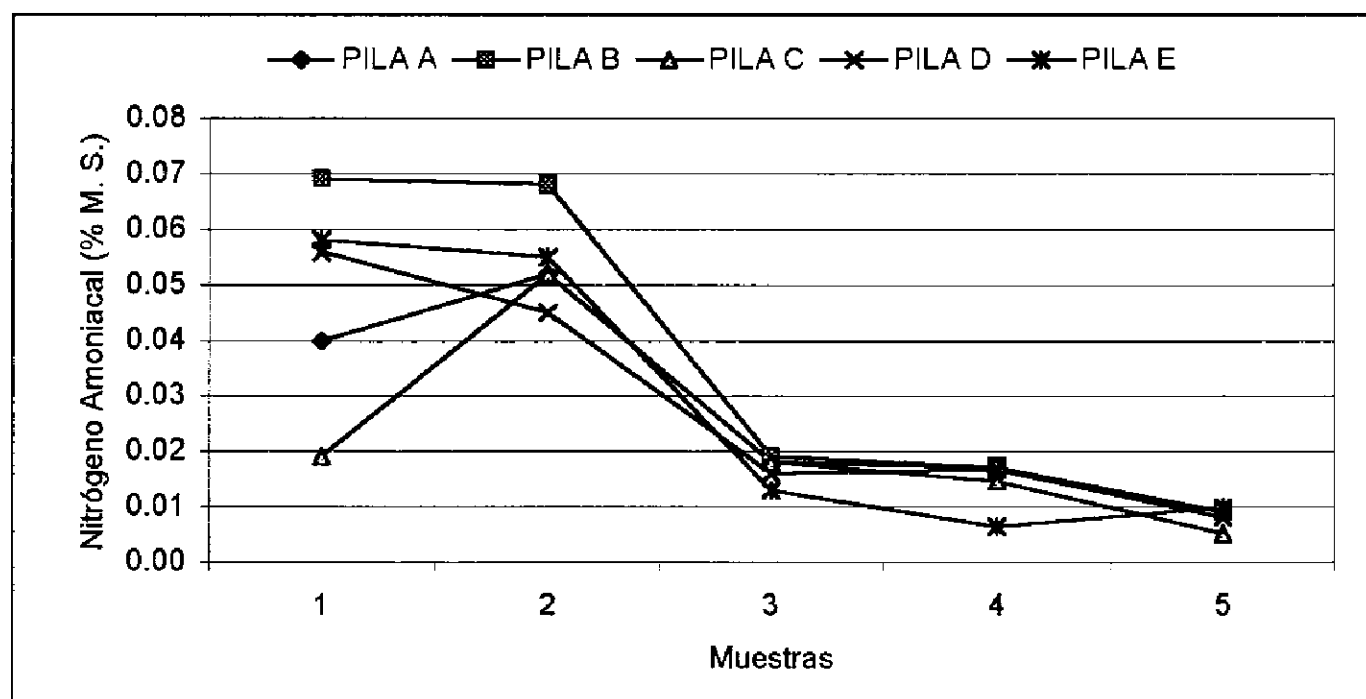


Figura 21. Nitrógeno amoniaco durante el proceso

Pila A: Desechos Sólidos Biodegradables con techo.
Pila B: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café con techo.
Pila C: Desechos Sólidos Biodegradables sin techo.
Pila D: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café sin techo.
Pila E: Pulpa de Café sola sin techo.

En la Figura 21 y 22, se puede ver que en todas las pilas el comportamiento fue casi idéntico, la concentración de amoníaco del producto final estaba casi en cero. La norma Austríaca dice que el porcentaje de Nitrógeno Amoniacal cuando el compost está maduro debe ser $\leq 0.03\%$.

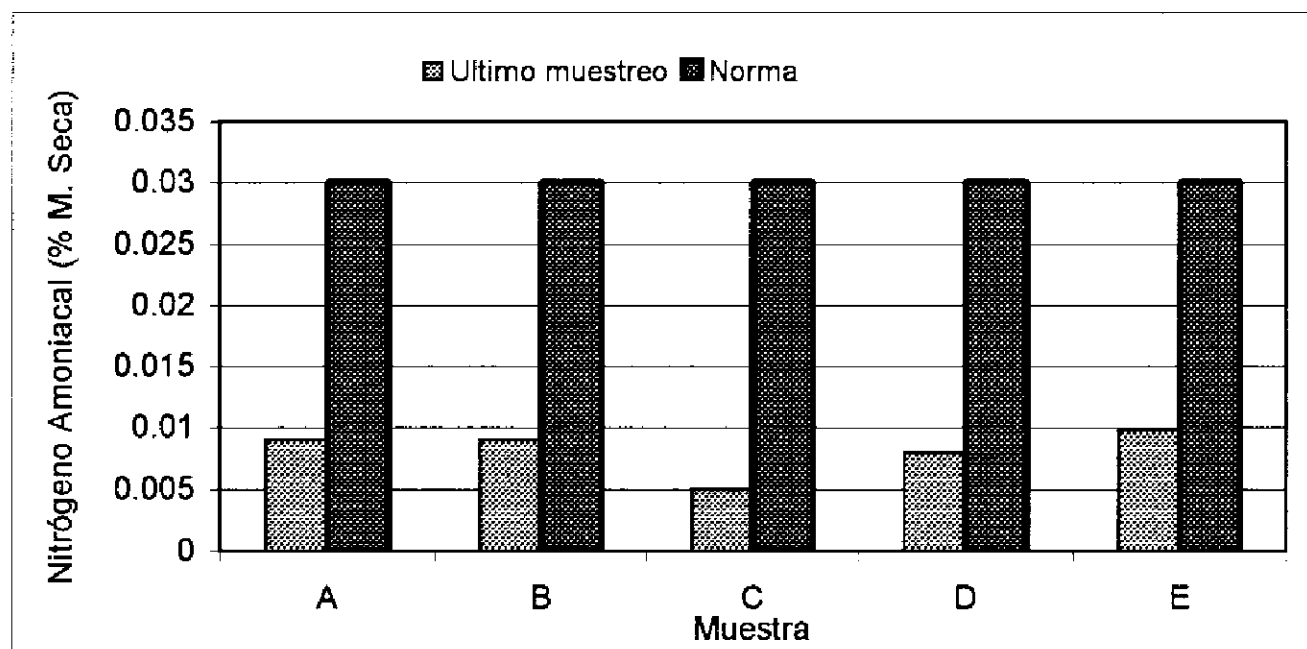


Figura 22. Nitrógeno amoniacal al final del proceso

La Figura 23 muestra el comportamiento del nitrato en todos los casos. La concentración más baja en las pilas sin techo en comparación con las techadas de la misma composición se debe al lavado constante por las lluvias. En la Figura 24, se muestran los resultados finales comparados con las Normas Austríacas, la cual dice que los valores deben ser $\geq 0.03\%$.

Se puede notar que al llegar a la estabilización de las pilas tres de ellas la sobrepasan y/o igualan, la única que queda por debajo es la pila C (Desechos Sólidos Biodegradables sin Techo). La que tiene mejor comportamiento es la pila B (Desechos sólidos Biodegradables con Pulpa de Café con Techo), que se mantuvo así hasta el final con un gran aumento desde el cuarto hasta el último muestreo.

Es necesario hacer notar que en todos los casos se dio un aumento en el contenido de nitrógeno en forma de nitrato a lo largo de todo el período de estudio. Un punto muy importante es que las pilas que desarrollaron valores más altos desde el inicio fueron las que tenían mezclada pulpa de café, posiblemente debido a la composición química de la pulpa, lo que pudo haber propiciado la mayor producción de este compuesto.

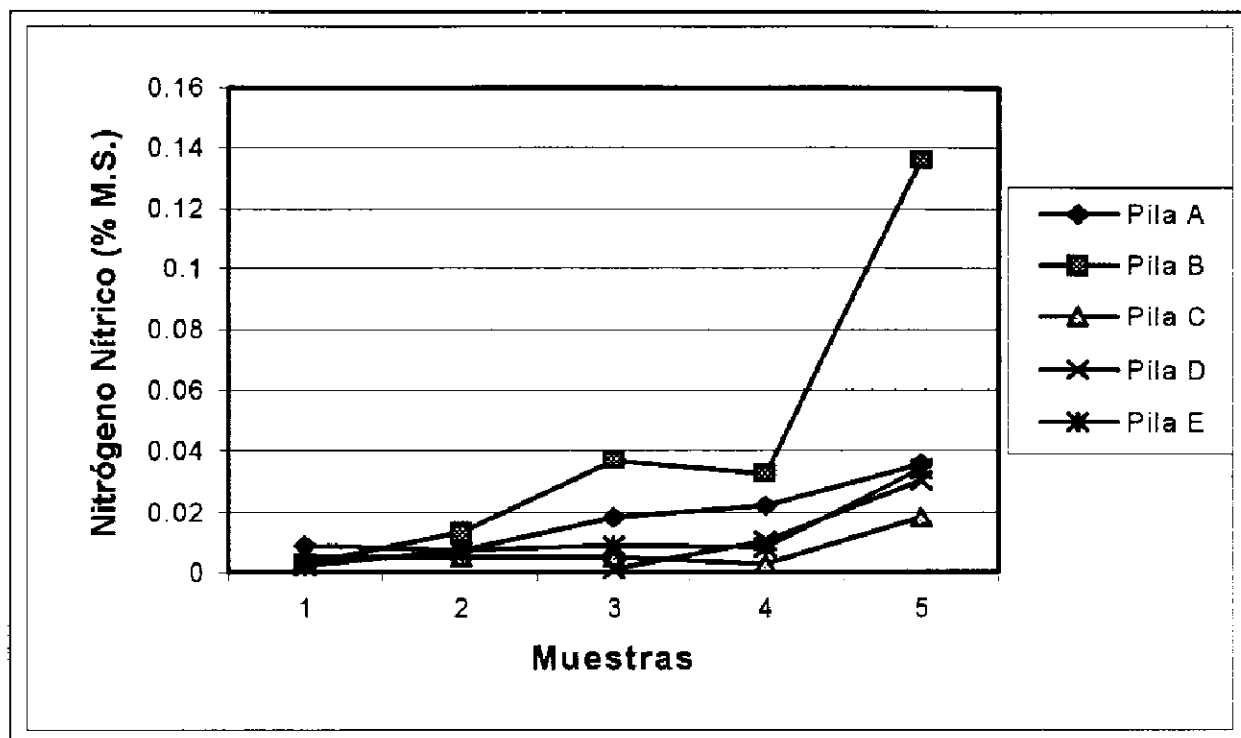


Figura 23. Nitrógeno-nítrico durante el proceso

Pila A: Desechos Sólidos Biodegradables con techo.

Pila B: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café con techo.

Pila C: Desechos Sólidos Biodegradables sin techo.

Pila D: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café sin techo.

Pila E: Pulpa de Café sola sin techo.

Un aspecto de suma importancia que se debe recalcar, es que aunque el amonio y el nitrato sean las dos formas inmediatamente disponibles para las plantas, el nitrógeno orgánico representa la forma que es más importante para la calidad del producto. La materia orgánica se descompone lentamente con ayuda de microorganismos presentes en el suelo liberando de esta manera poco a poco nitrógeno en forma disponible para las plantas. Así no puede haber tantas pérdidas de nitrógeno por lixiviación, cosa que sucede con el abono químico.

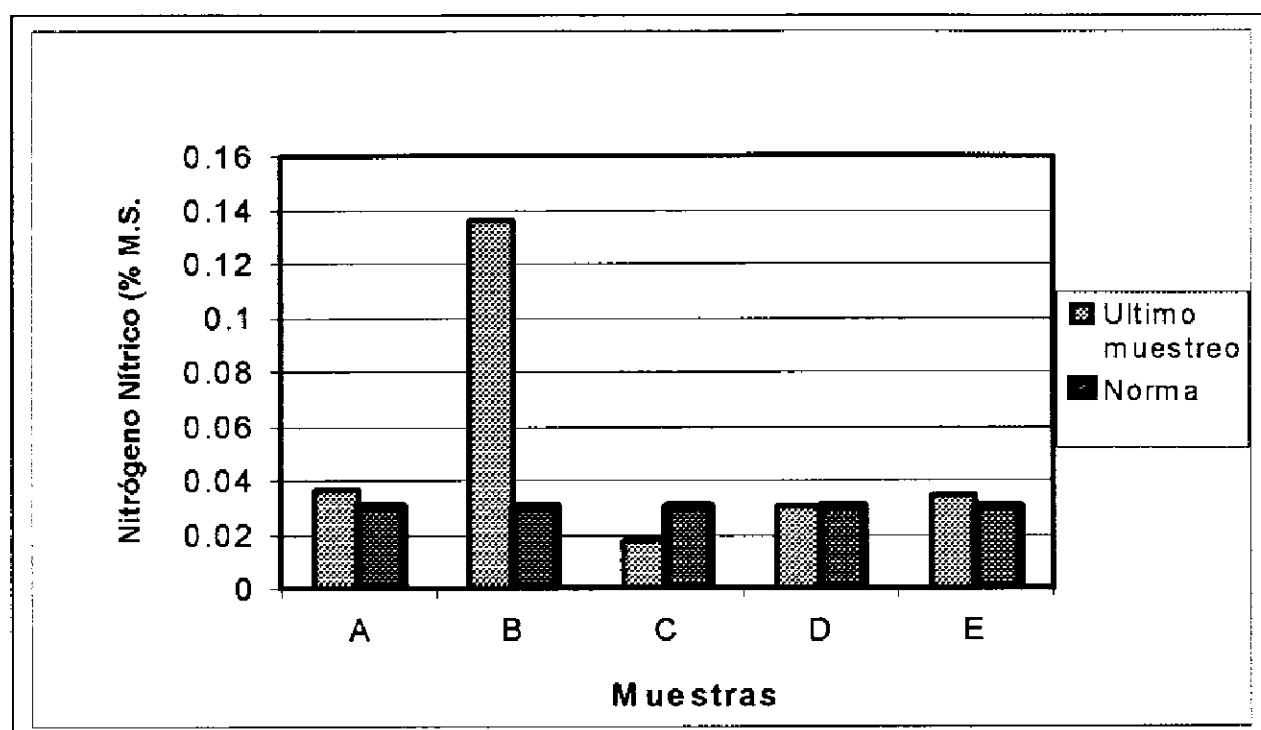


Figura 24. Nitrógeno – nítrico al final del proceso

- **Fósforo**

El contenido del fósforo total (Figura 25) en todas las pilas en estudio, tuvo cierta variación conforme el progreso del proceso. En los productos finales (Figura 26) de todas las pilas los valores fueron más o menos iguales a los iniciales, es decir en este caso hubo un cierto equilibrio entre lixiviado, material mineralizado y pérdida de materia orgánica (por ejemplo en forma de dióxido de carbono). Hay que tomar en cuenta un aspecto importante con respecto al fósforo total, la medición de éste no refleja la cantidad que está inmediatamente disponible para ser absorbida por las plantas, ya que puede estar retenido y fijado por los coloides del compost.

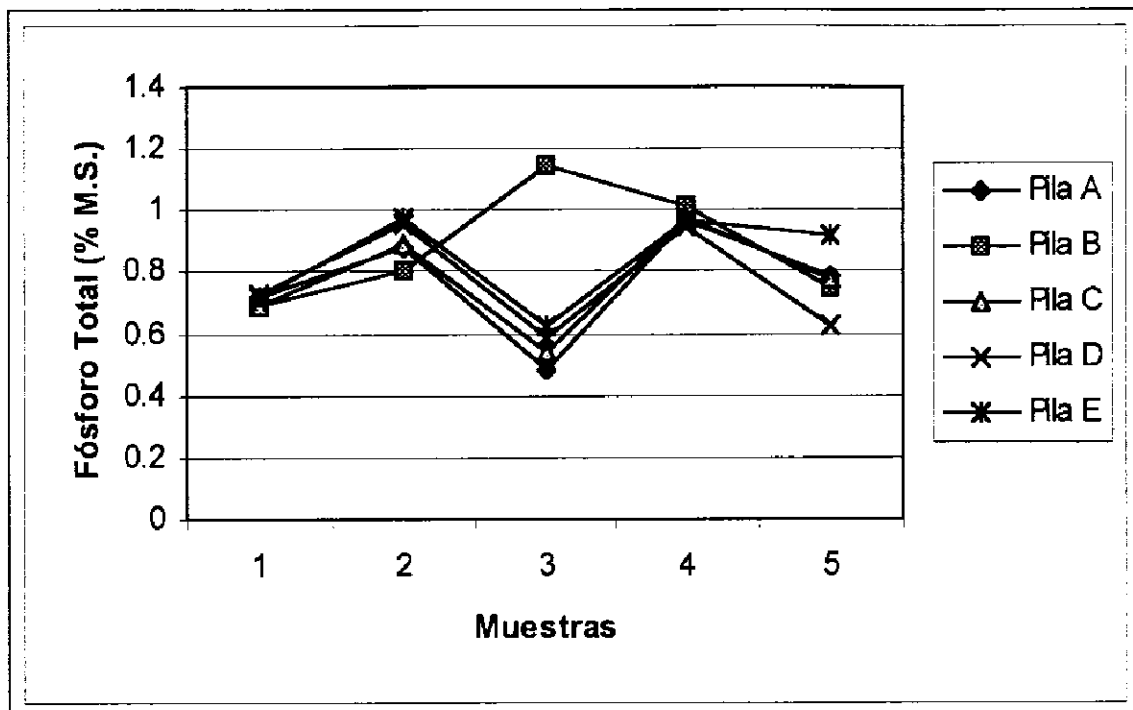


Figura 25. Fósforo total durante el proceso

Pila A: Desechos Sólidos Biodegradables con techo.
 Pila B: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café con techo.
 Pila C: Desechos Sólidos Biodegradables sin techo.
 Pila D: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café sin techo.
 Pila E: Pulpa de Café sola sin techo.

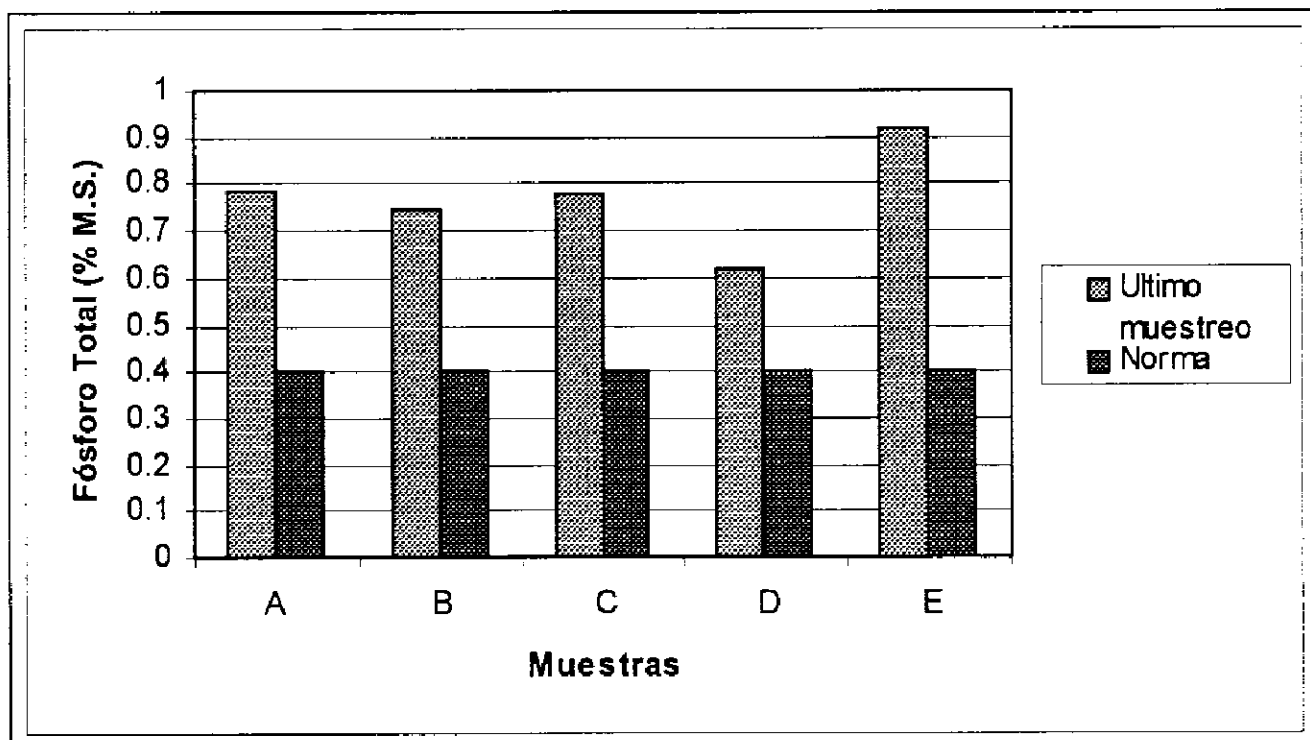


Figura 26. Fósforo total al final del proceso

La concentración de fósforo disponible para las plantas aumentó en relación al contenido inicial, como era de esperar por la mineralización de la materia orgánica (Figura 27). Las variaciones como ya se mencionó se deben a las pérdidas por lixiviados, así como a la incorporación de fósforo mineralizado en la estructura de la materia orgánica del compost.

El fósforo es un elemento indispensable para el desarrollo de las plantas, debido a que ayuda al desarrollo del sistema radicular, así como está involucrado en muchos procesos metabólicos esenciales para ellas.

En la Figura 28 se muestran los resultados finales del fósforo disponible comparados con la norma austríaca, la cual dice que el contenido debe ser igual o mayor al 0.04%. Como se puede ver todos los valores están muy por encima de la norma establecida.

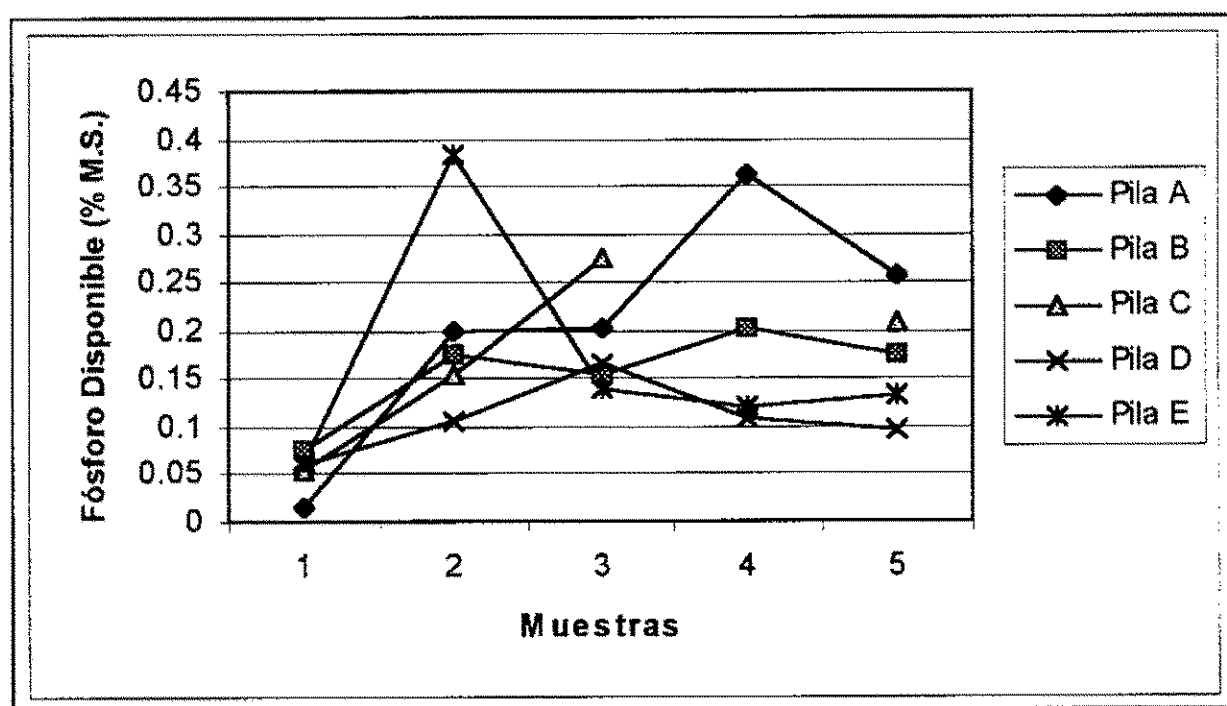


Figura 27. Fósforo disponible durante el proceso

- Pila A: Desechos Sólidos Biodegradables con techo.
- Pila B: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café con techo.
- Pila C: Desechos Sólidos Biodegradables sin techo.
- Pila D: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café sin techo.
- Pila E: Pulpa de Café sola sin techo.

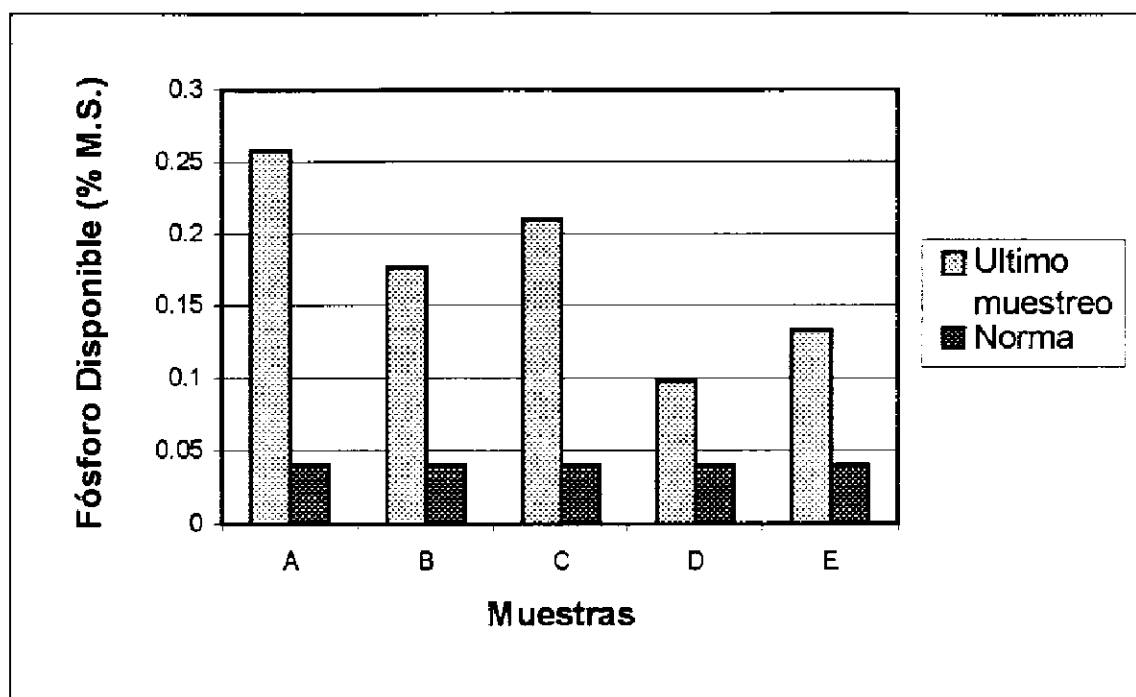


Figura 28. Fósforo disponible al final del proceso

• **Potasio**

El potasio, otro de los nutrientes esenciales que necesita la planta para su perfecto desarrollo, está involucrado en diversos procesos tales como formación de proteínas, frutos y semillas, fotosíntesis, entre otros. Sin embargo este macronutriente no tiene tanta importancia para el compost en Nicaragua, porque sus suelos por lo general poseen alto contenido de este elemento (Foild, N. et al., 1999). En la Figura 29 se presentan los porcentajes de potasio encontrados en las diferentes pilas de compost en el último muestreo comparado con la norma Austríaca que debe ser mayor o igual a 0.03%.

Como se puede observar en la siguiente figura la pila que tuvo el mayor porcentaje fue la pila B con 0.575 %, la cual estaba techada y mezclada con pulpa de café, seguida por la pila A con 0.315 %, ésta no tenía pulpa de café, pero si estuvo techada durante todo el proceso.

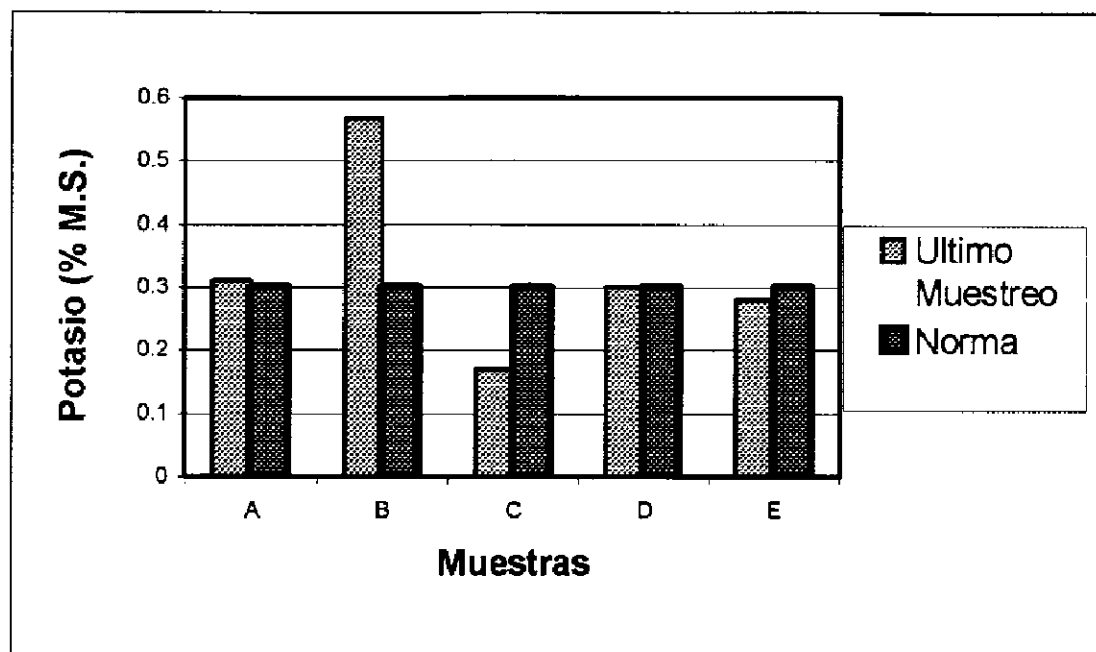


Figura 29. Potasio al final del proceso

Pila A: Desechos Sólidos Biodegradables con techo.
 Pila B: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café con techo.
 Pila C: Desechos Sólidos Biodegradables sin techo.
 Pila D: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café sin techo.
 Pila E: Pulpa de Café sola sin techo.

• **Magnesio**

El Magnesio es un nutriente también importante, debido a que forma la clorofila y por su escasez la planta se pone amarilla, sin embargo, es en menor grado que los anteriores. Este elemento al igual que el Calcio y el Potasio, se encuentran dependiendo del material de partida en forma difícilmente soluble (silicatos, carbonatos). Las causas de la gran variación del contenido de calcio y magnesio en el compost de desechos sólidos domésticos, son muchas veces debidas a las condiciones geológicas de los terrenos donde se compostan los desechos (13). En la Figura 30 se puede observar, que este elemento se encuentra por debajo de la norma en todas las pilas.

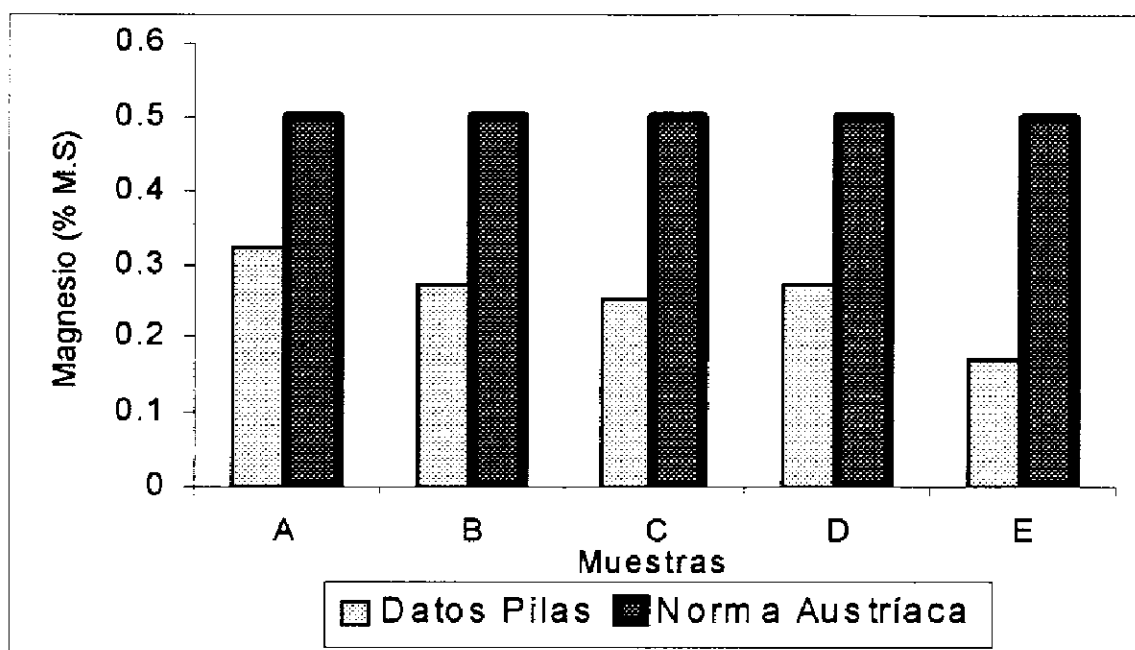


Figura 30. Magnesio al final del proceso.

Pila A: Desechos Sólidos Biodegradables con techo.

Pila B: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café con techo.

Pila C: Desechos Sólidos Biodegradables sin techo.

Pila D: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café sin techo.

Pila E: Pulpa de Café sola sin techo.

5.4.3. pH

El pH es una propiedad química importante en cualquier fertilizante orgánico, así como del suelo mismo, debido a que de él depende que muchos cultivos se puedan desarrollar adecuadamente; a pH bajos generalmente se da toxicidad de Aluminio y fijación de Fósforo. Siempre es recomendable mantener un control del pH.

Al inicio del proceso los valores de pH de las diferentes pilas variaron considerablemente, por la composición y el tiempo de muestreo (no todas las pilas se establecieron al mismo tiempo), sin embargo, al final estuvieron similares.

En la Figura 31 se observan los valores de pH de las pilas de compost durante todo el proceso de compostado, y en la Figura 32 comparando los valores del producto final con la Norma Austríaca, ésta dice que el pH debe de estar entre 7 y 8.5 en la fase de maduración, lo que se obtuvo en todas las pilas, es decir no hay que agregar nada para la adaptación del pH.

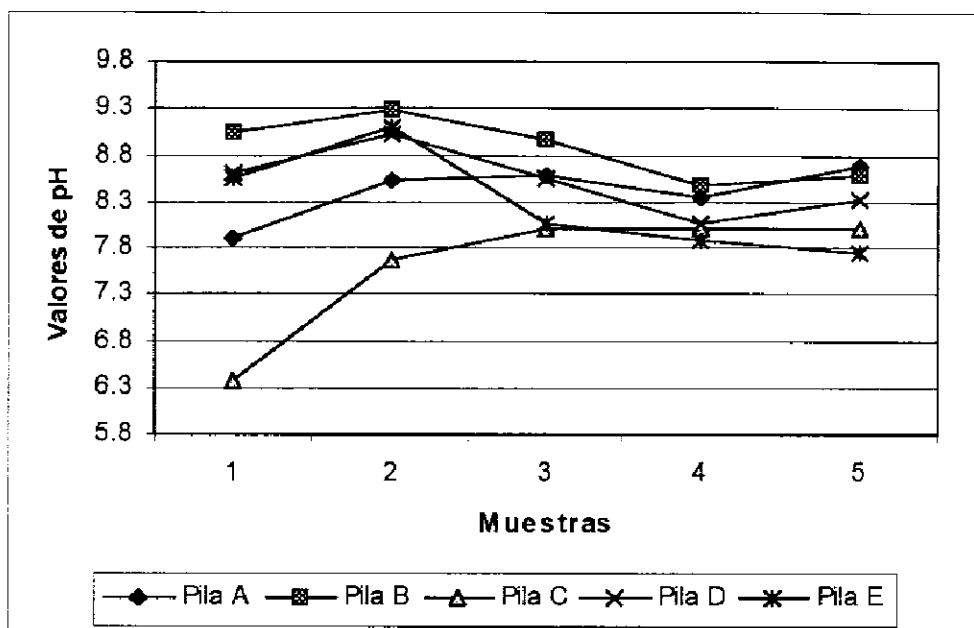


Figura 31. Valores del pH durante el proceso

Pila A: Desechos Sólidos Biodegradables con techo.
Pila B: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café con techo.
Pila C: Desechos Sólidos Biodegradables sin techo.
Pila D: Desechos Sólidos Biodegradables con pulpa de café sin techo.
Pila E: pulpa de café sola sin techo.

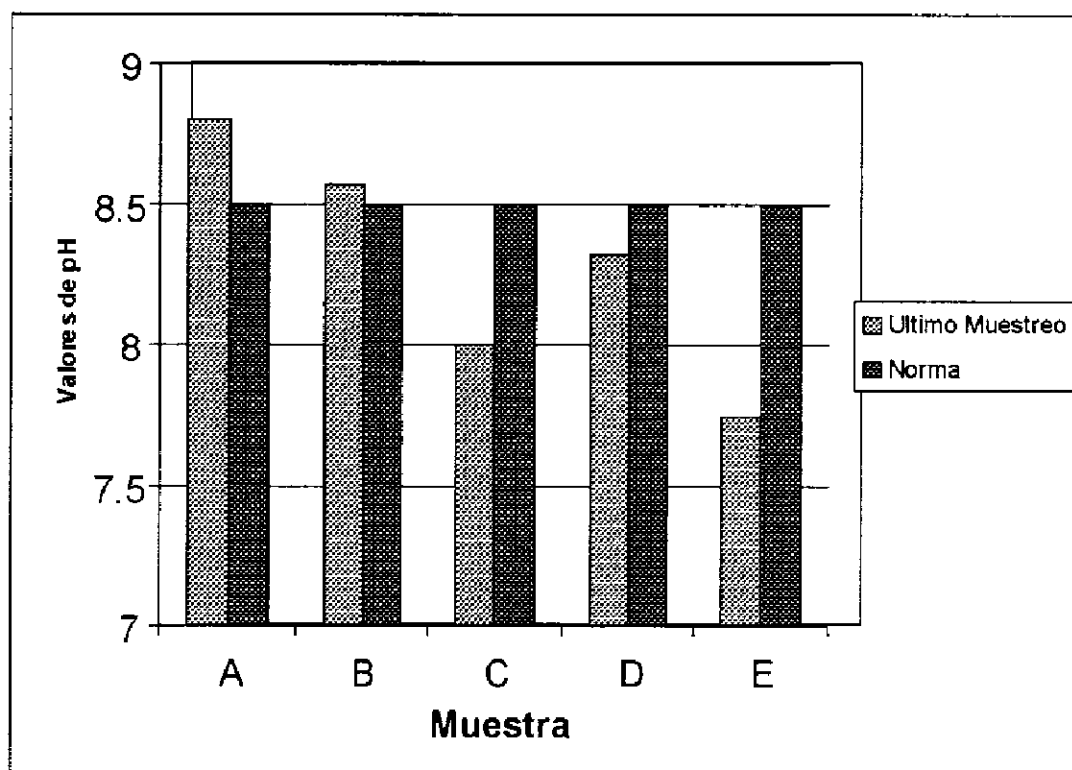


Figura 32. Valores del pH al final del proceso

5.5 ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO

El compostaje microbiano y aeróbico es un proceso exotérmico en el cual las temperaturas elevadas, las reacciones bioquímicas y la degradación de sustancias orgánicas llevan a la inactivación de microbios patógenos.

Como prueba de la eficiencia anti-epidemiológica del proceso es necesario llevar un control del procedimiento por etapas y controles finales.

5.5.1 Unidades de colonias aeróbicas

En la presente investigación se realizó conteo de mesófilos al final del proceso. En la Figura 33 se muestran estos valores comparados con la norma Austríaca, puede notarse que todos los valores cumplen con la norma, era de esperarse debido a que la materia bruta fue solamente del mercado y de las casas, apartando papel higiénico usado u otro material contaminante.

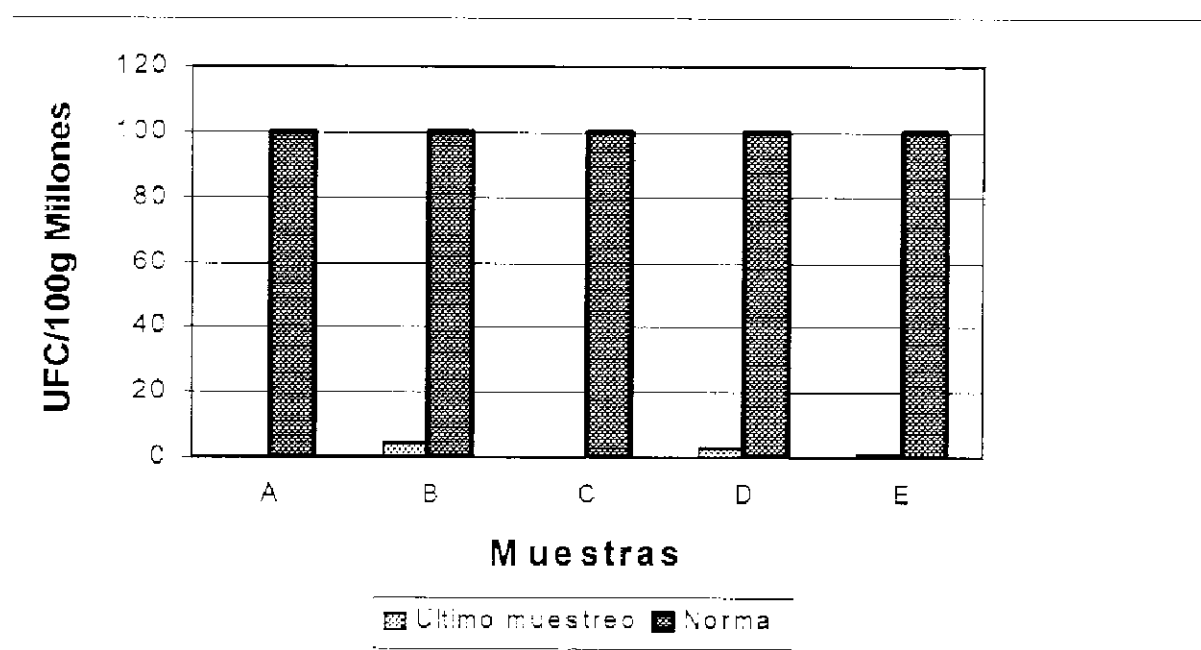


Figura 33. Mesófilos aerobios al final del proceso

5.5.2 Coliformes fecales

Se hizo un conteo de los coliformes fecales al final del proceso, en la Figura 34 se muestran los valores, todos cumplen con la norma Austríaca, igualmente que en el caso anterior era de esperarse, además esto se debió a que las pilas fueron sometidas a temperaturas adecuadas para eliminar patógenos.

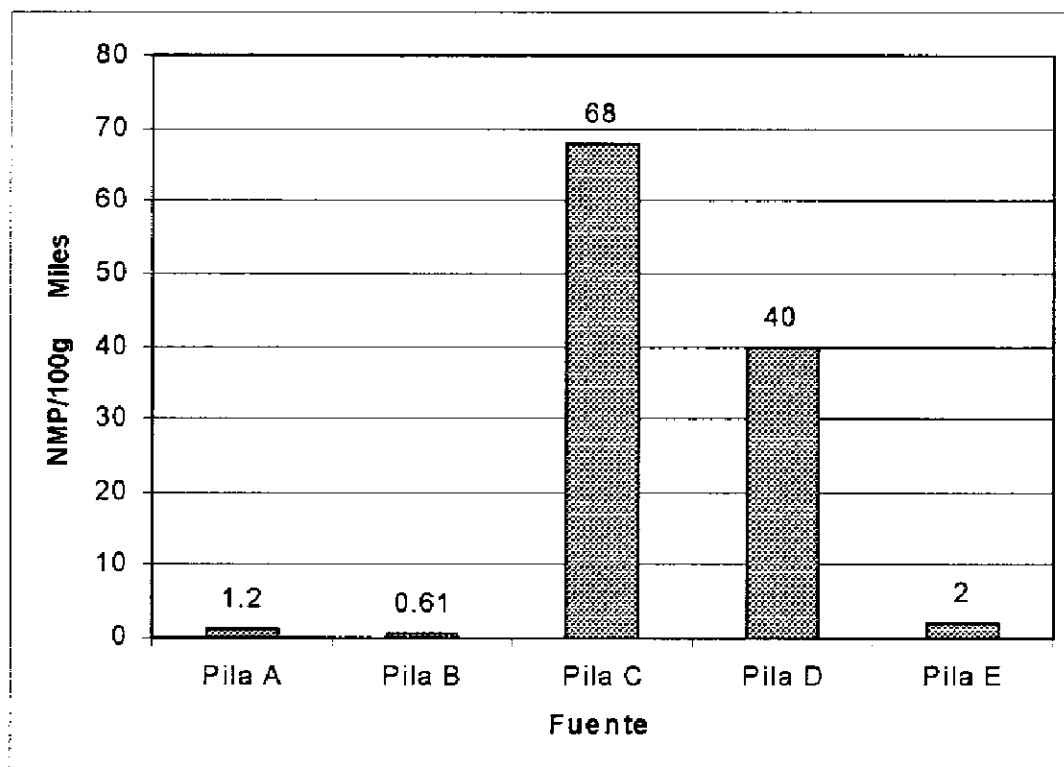


Figura 34. Coliformes fecales al final del proceso

5.6 PROPUESTA TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES Y PULPA DE CAFÉ MEDIANTE COMPOSTADO MANUAL AERÓBICO

Sobre la base de los resultados obtenidos, se formuló una propuesta para la construcción de una planta piloto de tratamiento de los desechos sólidos municipales y pulpa de café mediante compostado manual aeróbico, el cual fue sometido a la Comuna de Milán para su financiación. Un resumen de la propuesta se presenta a continuación:

PROPUESTA DEL PROYECTO

Objetivos:

Objetivos generales:

- Montar una planta piloto de compostación de basura orgánica municipal (basura de 10000 h.) con pulpa de café, más la basura del mercado.

- Construir un relleno sanitario manual para enterrar la basura inorgánica.

Objetivos específicos:

- Adquirir mayor experiencia en la técnica de compostado.
- Entrenar al personal sobre la técnica de compostado.
- Investigar la demanda del producto (compost, o mejorador del suelo).
- Montar una campaña de educación ambiental en manejo discriminado de desechos sólidos.
- Divulgar la técnica con el fin de que pueda ser utilizada en otras regiones cafetaleras del país.

Ubicación del proyecto y breve descripción

El proyecto estará ubicado frente al cementerio de la ciudad de Jinotepe, detrás del estadio y a la orilla de la quebrada Ticuiche, en un terreno aproximadamente de 0,7 hectáreas.

Se construirán 29 pilas rectangulares en paralelo de 2.40m de ancho y 1.40m de alto. Diez pilas tendrán una longitud de 60m y diecinueve medirán 40m de largo, esto se debe a las condiciones del terreno. Se irán conformando con los desechos orgánicos de cada día y la pulpa de café en la temporada, de manera que la conformación total tendrá una duración por el orden de 240 días.

El proceso será aeróbico. La basura que no se procese se enterrará en el relleno sanitario que se ubicará en el basurero actual (detrás del cementerio).

Las fases del proyecto

- * Fase de estudio.
- * Fase de diseño (topografía, estudio hidrológico).
- * Fase de construcción.
- * Operación , mantenimiento y monitoreo.
- * Fase final:
 - Informe final.
 - Justificación financiera.
 - Entrega de la planta piloto.

Organización

El proyecto se realizará con la participación de las siguientes instituciones:

- ♦ Organización Africa 70.
- ♦ Alcaldía de Jinotepe.
- ♦ UNI-PIDMA

Cuyos representantes son:

- ◇ Lic. Claudio Bonnetti, por la Organización Africa 70, que será el director del proyecto y manejará los fondos.
- ◇ Dr. Armando Rodríguez Serrano, por la alcaldía de Jinotepe, quien supervisará la construcción, operación y mantenimiento.
- ◇ Ing. Sandra Moreno Ayestas, por la UNI-PIDMA, quien estará a cargo del diseño y construcción de la planta, de la capacitación de los operarios y de la campaña de educación ambiental.

Además el proyecto constará de un comité técnico conformado por:

- ⇒ Lic. Juan Narváez Marengo, Alcaldía de Jinotepe.
- ⇒ Sr. Reinaldo Avilés, Jefe técnico de planta.
- ⇒ Ing. Sandra Moreno Ayestas, Profesora-Investigadora de la UNI.

El comité directivo estará integrado por:

- ⇒ Lic. Claudio Bonetti
- ⇒ Dr. Armando Rodríguez.
- ⇒ Ing. Idsart Dijkstra.

El comité técnico se reunirá una vez a la semana y el comité directivo una vez al mes, invitando a una persona del comité técnico, con el fin de que les mantenga informado sobre los avances del proyecto.

Financiación del proyecto

La cobertura de los costos se resumen en el siguiente cuadro:

Valor expresado en dólares americanos.

Actividades	UNI-TUDelft	Alcaldía de Jinotepe	Africa 70 Fratelli dell'Uomo Legambiente	Comuna de Milán	Total
Estudios del proyecto <ul style="list-style-type: none"> • Estudio topográfico • Estudio hidrológico • Operación e infraestructura 				U\$ 5,000.00	U\$5,000.00
Adquisición del terreno <ul style="list-style-type: none"> • Costo • Movimiento de tierra 		U\$ 5,000.00		U\$ 1,666.67	U\$6,666.67
Infraestructura <ul style="list-style-type: none"> • Calle de acceso (drenaje, canales, pavimento, entrada y estacionamiento) • Fosa sanitaria • Instalación de luz y agua 		U\$ 833.33 U\$ 1,250.00		U\$1,666.67 U\$ 8,333.33 U\$ 416.67	U\$12,500.00
Operarios <ul style="list-style-type: none"> • Celador • Operarios 				U\$1,250.00 U\$1,666.67	U\$2,916.67
Equipo <ul style="list-style-type: none"> • Bandas sin fin • Trituradora manual • Tela de lona • Vestuario de trabajo 				U\$5,833.34	U\$5,833.34
Operación y mantenimiento		U\$1,666.67		U\$2,083.34	U\$3,750.00
Monitoreo <ul style="list-style-type: none"> • Especialista UNI • Ayudante técnico 	U\$3,333.34 U\$1,666.67				U\$5,000.00

Apoyo logístico					
• Apoyo logístico Nicaragua (1)			US\$1,250.00		US\$1,666.67
• Apoyo logístico Italia (1)			US\$ 416.67		
Sensibilización en Italia					
• Seminarios y encuentros (2)			US\$ 1,666.67		US\$ 1,666.67
• Publicaciones y documentos (2)					
TOTAL	US\$5,000.00	US\$8,750.00	US\$3,333.34	US\$27,916.67	US\$45,000.00

Nota:

(1) La logística en Nicaragua (participación en las actividades conjuntas, comunicaciones, información transmitidas y relaciones), será asegurado por Africa '70, através del coordinador de la organización presente también por otra actividad en el país. Los costos logísticos en Italia (comunicación y transmisión de información y relaciones en Nicaragua), y la coordinación operativa en Italia, será asegurada por Africa '70.

(2) Los costos de sensibilización en Italia serán asegurados, en cuotas iguales por Fratelli dell'Uomo y de Legambiente.

PROYECTO PILOTO: COMPOST - JINOTEPE
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	Octubre 98				Noviembre 98				Diciembre 98				Enero 99				Febrero 99				Marzo 99				Abril 99				Mayo 99			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1. Fase exploratoria																																
2. Campaña de educación Ambiental (varios niveles)																																
2.1 Diseño campaña																																
2.2 Presentación gral. del proyecto																																
2.3 Presentación a los productores																																
2.4 Presentación a red centroamericana																																
2.5 Taller presentación de maestros y multisectorial																																
2.6 Taller organización de capacitación estudiantil																																
2.7 Capacitación estudiantil																																
2.8 Visita casa por casa y mercado																																
3. Diseño de planta de compost																																
3.1 Topografía																																
3.2 Estudio de suelo																																
3.3 Estudio hidrológico																																
3.4 Manual de operación																																
3.5 Capacitación al personal																																
4. Construcción																																
5. Puesta en marcha																																

VI. CONCLUSIONES

Sobre la base de los objetivos propuestos y de la discusión de los resultados del estudio se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La evaluación del sistema de recolección de los desechos sólidos se abordó en la monografía “ Caracterización y manejo de los desechos sólidos de la ciudad de Jinotepe” la cual es un componente de esta investigación y fue defendida en 1997, los resultados no se incluyen en este trabajo.
- La composición física de los desechos sólidos, en cuanto al alto contenido de materia orgánica confirma la técnica de compostado manual aeróbico como alternativa de tratamiento intermedio en el Municipio de Jinotepe. Sobre la base de esta conclusión se formuló la propuesta expuesta en el capítulo de resultados y discusión de esta tesis.
- El comportamiento de los principales parámetros físicos como la temperatura durante el proceso fue relativamente normal, no así la humedad que se detectó manualmente y se controló realizando volteos cuando fue necesario.
- El contenido de macronutrientes N, P, K, se encuentra muy por encima de la Norma Austríaca en las cinco pilas.
- Las pilas de desechos domésticos biodegradables con pulpa de café (Pilas B y D), presentaron los mejores resultados en cuanto al contenido de Nitrógeno y Potasio, no así con respecto al Fósforo .
- La pila E de pulpa de café presentó el mayor contenido de materia orgánica, y en general tuvo excelentes resultados en las demás variables.
- El contenido de Magnesio en las cinco pilas es muy bajo, en todos los casos estuvo por debajo de la norma. Los mejores resultados los presentó las pilas A y B que fueron techadas. Sin embargo, esto no es significativo, debido a que el Mg es un macro elemento secundario.
- El conteo de mesófilos en todas las pilas en el último muestreo cumple con la norma Austríaca, no así los coliformes fecales, sin embargo esto no es significativo.
- La precipitación pluvial afecta la actividad microbiana, ya que se produjo descomposición anaeróbica, debido a la alta humedad, cuando hubo

exceso de lluvia. Sin embargo se puede elaborar abono orgánico manualmente con tratamiento aerobio sin techo.

- La diferencia en los resultados en todos los parámetros analizados y básicamente en cuanto al contenido de macronutrientes no es significativa entre las pilas techadas y las sin techo, lo que posibilita una baja inversión al aplicar esta técnica en los municipios.
- Se obtuvo un excelente compost en las cinco pilas. En las pilas mezcladas se observó un alto contenido de materia orgánica, debido al alto contenido de materia orgánica de la pulpa.

VII. RECOMENDACIONES

Sobre la base de las conclusiones se recomienda:

- La realización de estudios de caracterización física, producción per cápita densidad suelta y compostes de desechos sólidos municipales en otros municipios de Nicaragua con el fin de elaborar normas nacionales.
- Los resultados de los estudios futuros de compostes deben compararse con los valores encontrados en los estudios realizados en Nicaragua, debido a que en todos los anteriores, incluyendo los valores de los resultados en este trabajo, se encuentran por encima de la norma austríaca.
- La utilización de cualquiera de las variantes de compost ya que todas cumplen los requisitos para ser utilizados como fertilizante orgánico en cualquier plantación.
- La elaboración de compost de la pulpa de café. Debido a que es un excelente abono orgánico, por tanto debe manejarse bien en los beneficios en vez de contaminar.
- Cubrir con carpas en casos de excesiva lluvia o realizar el volteo con más frecuencia.
- En caso de darse descomposición anaerobia por exceso de lluvia se recomienda aplicar aserrín o cualquier otro material absorbente.
- La elaboración de análisis del compost de las pilas con pulpa con cultivo de hortalizas para averiguar fitotoxicidad.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- ALCALDÍA MUNICIPAL DE JINOTEPE. 1993. Esquema de desarrollo urbano de la ciudad de Jinotepe. Unidad de estudios territoriales.
- ALCALDÍA DE MANAGUA, 1993. Proyecto Compost Acahualinca. Proyecto Amsterdam. Managua, Nicaragua.
- ALMAT/BIOMAT. Alcaldía de Matagalpa. 1993. Plan de tratamiento integral de los subproductos del café. Matagalpa.
- ARGÜELLO H., M. 1994. "Evaluación y adaptación de la tecnología de la compostificación para el tratamiento de los desechos sólidos orgánicos de la ciudad de Masaya". Tesis de grado para la Maestría en Ingeniería Ambiental. PIDMA-UNI, Managua, Nicaragua.
- ATLAS. 1990. Microbiología, fundamentos y aplicaciones. CECSA, México.
- BRESSANI, R., ESTRADA, E., Y JARQUÍN, R. 1972. Pulpa y pergamino de café. Composición química y contenido de aminoácidos de la proteína de la pulpa. Universidad de San Carlos, Guatemala.
- BÜCHSTING, A. 1996. Promotoría comunal. Alcaldía de Matagalpa, Nicaragua.
- COMPOSTING COUNCIL. E & A ENVIRONMENTAL CONSULTANTS, INC. 1996. Field Guide to Compost Use. Cary, North Carolina. U.S.A.
- CUEVAS, J. C. 1996. Comunicación personal. Centro experimental del valle de Sébaco. Matagalpa, Nicaragua.
- CHOW, H. Y PINEDA, D. 1997. Caracterización y manejo de los desechos sólidos de la ciudad de Jinotepe, Nicaragua. Monografía, UNI. 1997.
- DE JONG, K. 1994. Plan para el manejo de desechos sólidos para Managua, p.47-49. Managua, Nicaragua.
- DINOT-UNI. Dirección de investigación y orientación tecnológica-Universidad de Ingeniería. 1992. Normas Austríacas de compostes de basura (traducción). Managua, Nicaragua.
- ESTRADA, E. 1972. Composición química y contenido de aminoácidos de la proteína de la pulpa. Tesis Universidad de San Carlos. Guatemala.

- FAO. Boletín de suelos. 1979. China: reciclaje de desechos orgánicos en la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. República Popular de China.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Gerencia de Producción y Desarrollo. Boletín de Extensión # 73. Tercera edición. Octubre 1993.
- FOIDL, N; BAUER, H; ESCOBAR, E; CÁCERES, V; AGUIRRE, M. 1994. "Tratamiento de desechos sólidos mercado y ciudad de Masaya". Departamento de Biomasa- UNI y Empresa Sucher and Holzer. Managua, Nicaragua.
- FOIDL, G; FOIDL, N; MAYORGA, L; GROSS, H; LÓPEZ, O. 1999. Tratamiento de los desechos sólidos y líquidos de los rastros. Proyecto BIOMASA, Managua, Nicaragua.
- JARAMILLO, J; SALAZAR, A. 1987. "Desechos Sólidos". AINSA. Medellín, Colombia.
- LARDINOIS, I; KLUNDERT, A.. 1993. "Organic Waste". TOOL. Amsterdam.
- MENDOZA, H; VIVAS, M. 1996. Comunicación personal. UNICAFE, Matagalpa, Nicaragua.
- MORENO, N. 1995. Comunicación personal. Matagalpa, Nicaragua.
- MOVIMIENTO COMUNAL COLONIA CENTROAMÉRICA. 1990. Proyecto disposición y tratamiento de la basura Col. C.A. Managua, Nicaragua.
- PIURA, J. 1994. "Introducción a la metodología de la investigación científica". Centro de investigaciones y estudios de la salud. UNAN. Editorial el amanecer. Managua, Nicaragua.
- PROGRAMA BOLIVAR, ALCALDÍA DE MANAGUA, BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO, 1999. Diagnóstico de la Situación Actual del Manejo de los Residuos Sólidos Distrito I – Managua.
- STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 1989. 17 Edition. Estados Unidos.
- SUÁREZ, F. 1980. La pulpa de café como abono. I.I.C.A., San Isidro de Coronado, Costa Rica.
- TCHOBANOGLIOUS, G; THIESSEN, F. 1995. Gestión Integral de Desechos Sólidos. Editorial McGraw Hill, México.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Cuadro 1. Análisis químico Pila A: desechos sólidos con techo.

Parámetros	Unidades	1ra. muestra	2da. Muestra	3ra. muestra	4ta. Muestra	5ta. muestra
pH (muestra seca)	--	7.90	8.53	8.59	8.34	8.68
Sólidos totales	%	47.56	52.17	63.03	62.25	75.12
Sólidos Volátiles	%	35.24	33.06	21.80	22.97	20.38
Nitrógeno-Amonio	(g/Kg de M. Seca)	0.40	0.52	0.18	0.17	0.09
Nitrógeno Nitrato	– (g/Kg de M. Seca)	0.09	0.07	0.18	0.22	0.36
Nitrógeno Kjeldah	(g/Kg de M. Seca)	13.70	12.49	8.26	14.11	8.45
Fósforo disponible	(g/Kg de M. Seca)	0.14	2.00	2.02	3.62	2.57
P ₂ O ₅ (CAL)						
Fósforo Total (OLSEN)	(g/Kg de M. Seca)	7.15	8.82	4.81	9.67	7.84
Carbono (Kurmies)	% de M. Seca					10.45
Potasio	% de M. Seca					3.15
Magnesio	% de M. Seca					0.32

Anexo 2. Cuadro 2. Análisis químico Pila B: desechos sólidos con pulpa de café con techo

Parámetros	Unidades	1ra. Muestra	2da. Muestra	3ra. muestra	4ta. Muestra	5ta. muestra
pH (muestra seca)	--	9.04	9.27	8.96	8.48	8.57
Sólidos totales	%	31.53	47.65	53.59	32.53	68.07
Sólidos Volátiles	%	54.51	37.06	26.89	52.60	31.42
Nitrógeno-Amonio	(g/Kg de M. Seca)	0.69	0.68	0.19	0.17	0.09
Nitrógeno Nitrato	– (g/Kg de M. Seca)	0.03	0.13	0.37	0.32	1.36
Nitrógeno Kjeldahl	(g/Kg de M. Seca)	23.61	19.10	15.87	9.31	10.73
Fósforo disponible P ₂ O ₅ (CAL)	(g/Kg de M. Seca)	0.74	1.74	1.55	2.02	1.76
Fósforo Total (OLSEN)	(g/Kg de M. Seca)	6.90	8.00	11.46	10.11	7.44
Carbono (Kurmies)	% de M. Seca					13.03
Potasio	% de M. Seca					5.75
Magnesio	% de M. Seca					0.27

Anexo 3. Cuadro 3. Análisis químico Pila D: desechos sólidos y pulpa de café sin techo

Parámetros	Unidades	1ra. Muestra	2da. Muestra	3ra. Muestra	4ta. Muestra	5ta. Muestra
pH (muestra seca)	--	8.60	9.03	8.55	8.07	8.32
Sólidos totales	%	34.79	32.05	34.75	31.44	64.38
Sólidos Volátiles	%	40.04	40.81	35.80	41.60	28.97
Nitrógeno-Amonio	(g/Kg de M. Seca)	0.56	0.45	0.16	0.16	0.08
Nitrógeno Nitrato	– (g/Kg de M. Seca)	0.03	--	0.01	0.10	0.30
Nitrógeno Kjeldahl	(g/Kg de M. Seca)	19.44	17.13	11.25	10.23	11.39
Fósforo disponible	(g/Kg de M. Seca)	0.61	1.05	1.65	1.10	0.98
P ₂ O ₅ (CAL)						
Fósforo Total (OLSEN)	(g/Kg de M. Seca)	7.29	9.57	5.87	9.42	6.20
Carbono (Kurmies)	% de M. Seca					12.16
Potasio	% de M. Seca					3.07
Magnesio	% de M. Seca					0.27

Anexo 4. Cuadro 4. Análisis químico Pila C: desechos sólidos sin techo

Parámetros	Unidades	1ra. Muestra	2da. Muestra	3ra. Muestra	4ta. Muestra	5ta. Muestra
pH (muestra seca)	--	6.36	7.67	8.00	8.02	8.00
Sólidos totales	%	28.26	41.06	47.75	46.32	63.13
Sólidos volátiles	%	48.05	39.04	26.72	28.76	26.74
Nitrógeno-amonio	(g/kg de m. Seca)	0.19	0.52	0.18	0.14	0.05
Nitrógeno nitrato	– (g/kg de m. Seca)	0.05	0.05	0.05	0.02	0.18
Nitrógeno kjeldahl	(g/kg de m. Seca)	12.25	11.98	7.62	5.17	9.48
Fósforo disponible	(g/kg de m. Seca)	0.54	1.54	2.76	--	2.09
p ₂ O ₅ (cal)						
Fósforo total (olsen)	(g/kg de m. Seca)	6.86	8.85	5.38	9.74	7.78
Carbono (kurmies)	% de m. Seca					12.19
Potasio	% de m. Seca					1.77
Magnesio	% de m. Seca					0.25

Anexo 5. Cuadro 5. Pila E: pulpa de cafe sin techo

Parámetros	Unidades	1ra. Muestra	2da. muestra	3ra. muestra	4ta. Muestra	5ta. Muestra
pH (muestra seca)	--	8.55	9.09	8.07	7.88	7.74
Sólidos totales	%	23.32	22.83	32.32	32.49	41.14
Sólidos Volátiles	%	61.66	68.77	51.30	52.87	46.64
Nitrógeno-Amonio	(g/Kg de M. Seca)	0.58	0.55	0.13	0.06	0.09
Nitrógeno Nitrato	(g/Kg de M. Seca)	0.02	0.07	0.09	0.08	0.34
Nitrógeno Kjeldahl	(g/Kg de M. Seca)	29.13	2.92	14.88	5.10	21.67
Fósforo disponible	(g/Kg de M. Seca)	0.62	3.83	1.40	1.21	1.33
P ₂ O ₅ (CAL)						
Fósforo Total (OLSEN)	(g/Kg de M. Seca)	7.20	9.72	6.26	9.64	9.19
Carbono (Kurmies)	% de M. Seca					17.70
Potasio	% de M. Seca					2.85
Magnesio	% de M. Seca					0.17

ANEXO 6. EL COMPOSTADO MANUAL AERÓBICO

Instructivo

Ing. Sandra Moreno Ayestas M.Sc.

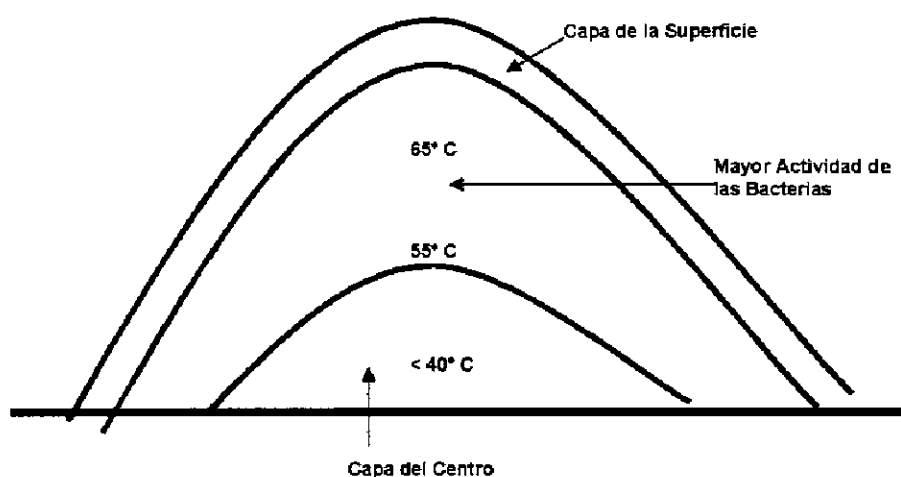
Profesora Titular-Investigadora UNI
smoreno@ibw.com.ni

1. Introducción

La compostación sirve para convertir biológicamente los desechos sólidos orgánicos o desperdicios en materia estable, con apariencia de humus. O sea que se trata de conversión de energía, para que después de estabilizada la materia orgánica, pueda ser utilizada por las plantas como fuente de nutrientes.

En su proceso aeróbico, la compostación tiene dos fases. La primera fase o síntesis convierte los desechos sólidos en microbios o mejor en biomasa, con mucho aumento de temperatura. En el esquema se puede apreciar que esta temperatura varía en las diferentes partes de la pila. La segunda fase o endógena obliga al autoconsumo de los microbios, hasta el agotamiento exhaustivo de las reservas energéticas de los microorganismos, quedando como producto final el compost.

El compost es un material negruzco con olor y apariencia muy similar al humus o tierra de bosque. Es extremadamente versátil y útil para muchas aplicaciones y situaciones. Posee la capacidad de mejorar físicamente (estructuralmente), químicamente (nutricionalmente) y biológicamente las propiedades de los suelos y el ambiente de crecimiento. Según las Normas Austríacas el compost debe de tener $\geq 0,8$ % de Nitrógeno Total, $\geq 0,4$ % de Fósforo (P_2O_5) y $\geq 0,3$ % de Potasio (K_2O).



La temperatura de la compostera

2. Procedimiento

La manera de hacer compostado manual aeróbico es muy simple, sin embargo se necesita tener el conocimiento y la voluntad de hacerlo, tanto a nivel casero como en una comunidad o municipio.

➤ Casero

Los desechos de la cocina, sean cáscaras de frutas, de huevo, huesitos, en fin todo lo que sea de origen vegetal y animal, se coloca en un recipiente separado del resto de los desechos, se corta en pedazos pequeños ya que esto favorece la descomposición. Posteriormente se deposita en el patio en un lugar adecuado, es decir que no se encharque, se van colocando los desechos sobre el suelo natural en forma de montoncito (parva). Se puede apreciar en la foto siguiente que la parva está ubicada muy cerca de las habitaciones de la casa, lo cual implica que no ocasiona molestias.

La primera vez, se puede cubrir con un poquito de tierra, con el fin de evitar que atraiga moscas u otros vectores, después los desperdicios se van colocando debajo de lo anterior, si hay grama o poda de jardín también se composta, además hojarasca de los árboles. En la poda de árboles se recomienda desramar y solamente dejar las hojas, porque los troncos tardan mucho en degradarse, es preferible y útil colocar éstos en la acera para que le sirvan de leña a la gente. Como se puede apreciar en la figura siguiente. Se procura que lo más nuevo vaya quedando a la orilla, a fin de garantizar la cosecha del material viejo, para utilizarlo en las plantas, grama, árboles, en el huerto, etc.

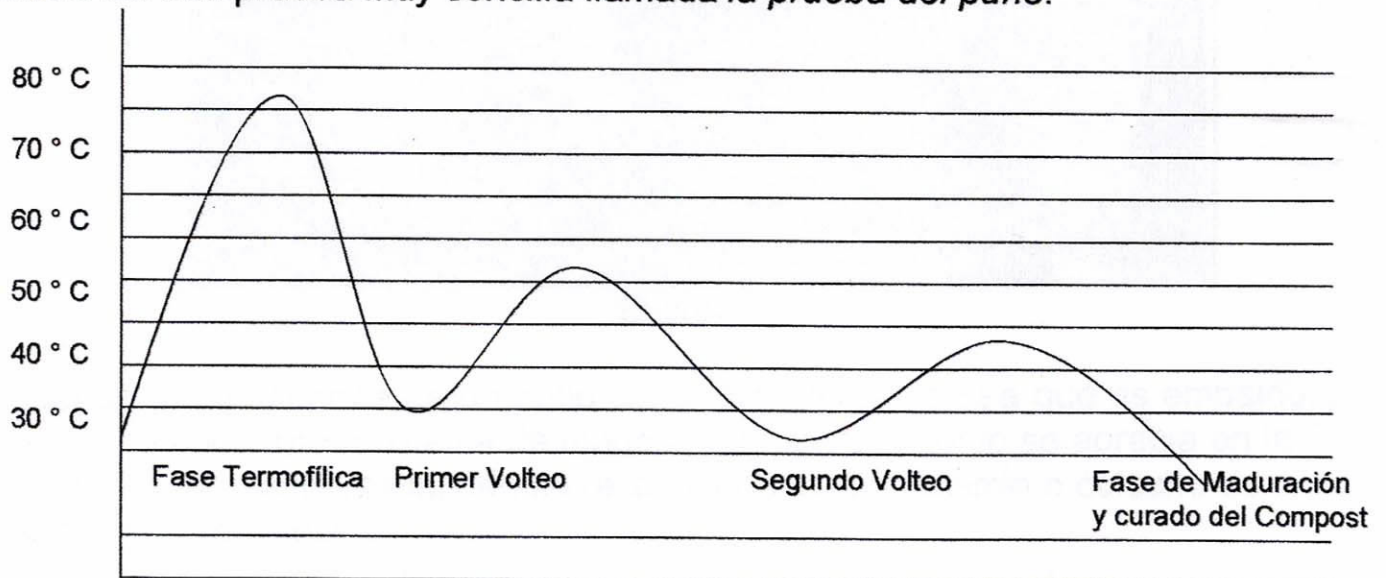


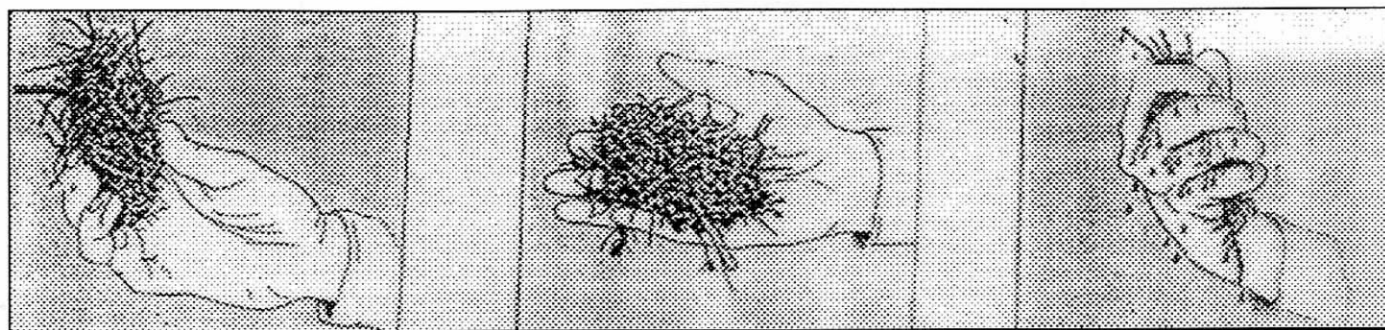
Compostera sobre suelo

El volteo

Para activar los microorganismos se mezcla toda la pila (elevar la temperatura).

El montoncito (parva) se riega de vez en cuando y se voltea cada semana o cada quince días, depende de las condiciones de humedad, la cual se puede apreciar haciendo una prueba muy sencilla llamada *la prueba del puño*.

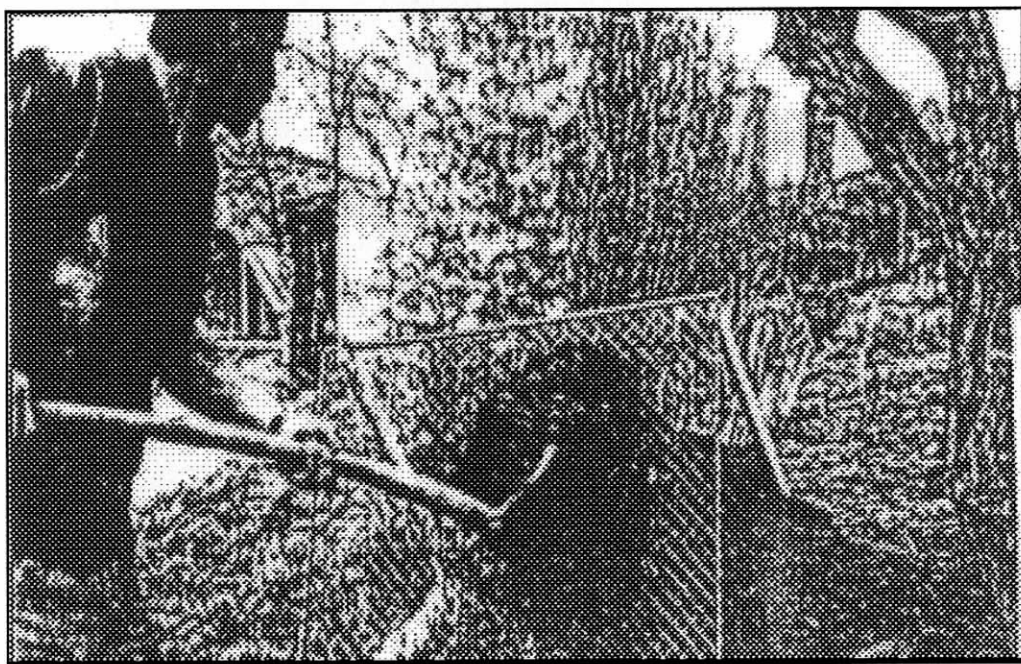




Prueba del puño

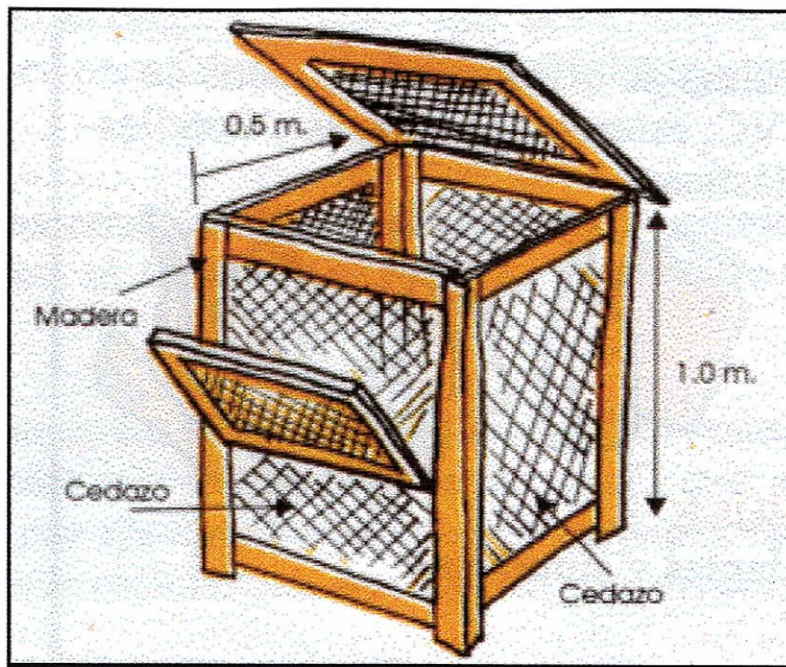
Se toma un poco de material en la mano y se presiona cerrando la mano. Si se hace masa está bien, si no hace se masa está muy seco, necesita riego y si chorrea agua está muy húmedo, necesita volteo.

Se sabe que hay compost, cuando la temperatura baja a la temperatura del ambiente, además se ve la tierra negra con olor a humus, que denota su madurez, esto sucede como a los dos meses, depende del material de origen, ya que unos se degradan más rápido que otros. Para aplicarlo, se puede cribar con una zaranda o simplemente se esparce en el lugar deseado.



El cribado

Cuando no se dispone de un patio con suelo natural, o sea que es embaldosado, se puede construir una cajita de madera con cedazo, como se aprecia en la figura siguiente. Con esta modalidad se recomienda utilizar aserrín o colocho de madera como material secante.



Abonera



Riego de la compostera sobre suelo

➤ **Municipal**

A nivel municipal el procedimiento tiene cierto grado de complejidad debido principalmente a las políticas de las autoridades locales, al tamaño de la población, factores administrativos, tecnológicos y socio culturales, pero, también con voluntad pueden impulsarse acciones que lleven a la creación de esas políticas para la debida planificación del manejo integrado de los desechos sólidos y permita montar proyectos de compostado manual o semi-manual a pequeña o

con voluntad pueden impulsarse acciones que lleven a la creación de esas políticas para la debida planificación del manejo integrado de los desechos sólidos y permita montar proyectos de compostado manual o semi-manual a pequeña o mediana escala, educando a la población para un manejo discriminado de los desechos desde la casa. Si las condiciones mencionadas están dadas, el procedimiento técnico es bastante simple y similar al que se explicó anteriormente, sin embargo, deberá capacitarse a los operarios que manejarán la planta.

En primer lugar se deberán hacer estudios previos de caracterización de los desechos, producción per cápita, para poder planificar un manejo integrado incluyendo un Programa de educación ambiental apoyado con una fuerte campaña publicitaria.

Para montar una planta de compostado manual en el municipio se deberá disponer de un terreno con buen drenaje, de unas dos manzanas (según el volumen de desechos a tratar), con instalación de agua y cercado,.

Se construye un galerón de tamaño variable, como el que se aprecia en la foto, éste mide 18 m de largo, 6 m de ancho y 3 m de altura y está ubicado aproximadamente a 5 km de la ciudad de Jinotepe. Se utiliza para almacenar el compost listo para la comercialización.

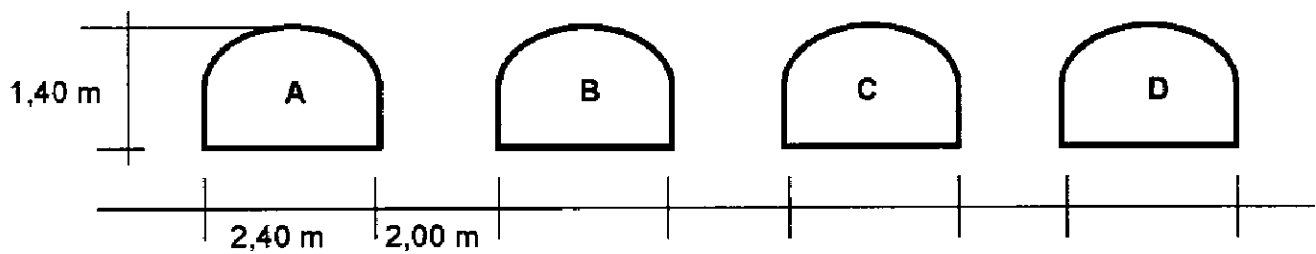
Las pilas (parvas) de desechos orgánicos se van conformando al aire libre con los desechos del día, con dimensiones de 2.40 m de ancho, 1.40 de alto y longitud variable, según lo permita el terreno, y una separación de unos dos metros entre pilas, para realizar el volteo. Se deberá tener cuidado de que sólo se utilice materia orgánica, es decir se deberá educar a la población para que separe desde la casa, hacerlo en el lugar resulta más difícil.

Conformadas las pilas se deberá tomar la temperatura en días alternos y también se chequeará la humedad y el pH. Además se tomarán muestras al final del proceso para analizar en el laboratorio el contenido de macronutrientes, compararlos con las normas y poder certificar su calidad.

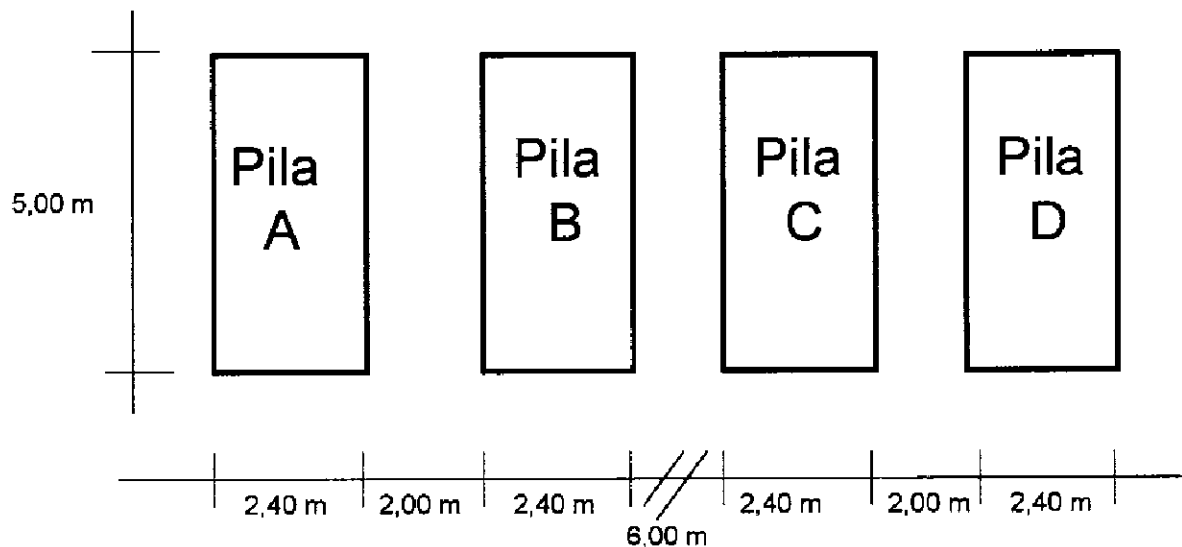


Galerón de concreto

En las siguientes figuras se presenta el esquema de las pilas de compostado.



Elevación de las Pilas



Planta de las Pilas

Esquema de pilas de compostado

3. Ventajas del compost

- Tratamiento intermedio para la recuperación de un recurso natural.
- Facilita la recuperación de productos como vidrio, papel, plástico.
- Reduce grandemente los volúmenes de desechos.
- Altamente posible en países donde los desechos contienen un alto contenido de biomasa.
- Mejora la estructura del suelo, la porosidad y la densidad. Creando así un mejor ambiente para la raíz de la planta.
- Aumenta la infiltración y permeabilidad de suelos densos. Reduciendo la erosión y las avalanchas.
- Mejora la capacidad para absorber el agua. Reduce la pérdida de agua y de lixiviados en suelos arenosos.
- Proporciona una variedad de macro y micronutrientes.

- Puede controlar y suprimir ciertos problemas patógenos causados por el suelo en las plantas.
- Proporciona grandes cantidades de materia orgánica.
- Mejora la capacidad de intercambio de cationes de los suelos y el medio ambiente, lo que contribuye a la absorción de nutrientes.
- Proporciona microorganismos al suelo y al medio de crecimiento
- Puede atrapar y degradar contaminantes específicos.
- Ahorro de divisas.
- Creación de fuentes de empleo.

4. Utilización del Compost

Aplicación de Compost (qq/manzana)		
Cultivo	Abono (15 C\$/qq)	Abono (13 C\$/qq)
Maíz, Frijol	13	18
Arroz	9	12
Aguacate (mayor de 8 años)	9	12
Soja, Tomate	25	32
Ajonjolí al año	61	82
Pitahaya, Piña	175	230
Café al año	175	230
Mango	5 libras/árbol	7 libras/árbol

Este cuadro es basado en el compost que se elabora en Masaya. Actualmente se producen entre 70-100 qq al día, con la tendencia a aumentar. El abono con valor de 15 C\$ contiene 1,93 % de Nitrógeno, 1,36 % de Fósforo y 1,29 % de Potasio, enriquecido con Tacrefol y desechos líquidos del rastro.

El abono con valor de C\$ 13 contiene 1,45 % de Nitrógeno, 1,15 % de Fósforo y 1,07 % de Potasio.

Además se puede utilizar el compost para grama, plantas ornamentales y árboles, como se muestra en las siguientes fotos.



Grama de jardin



Plantas ornamentales



Madroño (1 año 10 meses de edad)

5. Experiencias en Nicaragua

La autora tiene conocimiento del compostado artesanal, aproximadamente hace unos cuarenticinco años, cuando Don Ramón Grijalba, granjero matagalpino cultivador de hortalizas, enterraba los desechos orgánicos por cierto tiempo y luego la depositaba en sus cultivos. Así mismo en los jardines de algunas casas se acumulaba los desechos orgánicos y el estiércol de ganado vacuno y caballar, y después de algún tiempo se aplicaba en los cultivos como abono.

La técnica de la compostación a escala urbana en Nicaragua es muy reciente, prácticamente data a partir de 1984 con un proyecto que impulsó el Movimiento Comunal de la Colonia Centroamérica, en Managua, dirigido por la Sra. Ruth Kelly y financiado por un organismo alemán.

En este proyecto se procesaba, por tratamiento aeróbico, los desechos orgánicos de 400 casas los cuales eran recolectados en un carretón de caballos y trasladados a un predio muy cerca del autocine Gando. Se desconoce si se hacían pruebas de laboratorio para investigar la calidad del compost, sin embargo, éste se utilizaba en un huerto comunal y era comercializado. Se ignora, además, el motivo por el cual se discontinuó el proyecto.

Fue a partir de 1992 que la Universidad Nacional de Ingeniería. A través de la Dirección de Investigación y Orientación Tecnológica, DINOT-UNI, ha ejecutado algunos proyectos de investigación evaluando varios tipos de compost, tanto el de estiércol de ganado vacuno en los mataderos de la ciudad de Masaya y Chinandega, como de desechos orgánicos del mercado de Masaya.

En 1993 la Alcaldía de Managua inició el tratamiento por descomposición aeróbica, de los desechos orgánicos de los mercados en el botadero de Acahualinca. Este proyecto fue desarrollado y financiado por organismos no gubernamentales de Holanda y se conoció como Proyecto Amsterdam, se realizaron análisis de laboratorio. El producto obtenido se comercializó en el país y se distribuyó en algunos supermercados, teniendo aceptación por pequeños productores y viveros municipales.

En 1994 con los desechos orgánicos del mercado de Masaya se realizó la tesis *Evaluación y Adaptación de la Tecnología de la Compostificación para el Tratamiento de los Desechos Sólidos de la Ciudad de Masaya* por la Ing. Mercedes Argüello Herrera M.Sc., constituyendo en la actualidad uno de los trabajos más serios en este campo.

A partir de 1995 la Alcaldía de Matagalpa a través de su oficina de promotora comunal inició un proyecto de compostado por descomposición anaeróbica, utilizando los desechos de los mercados. El mismo fue impulsado por INIFOM y se mantiene hasta la fecha. Al producto obtenido se le han hecho algunos análisis físico-químicos en el laboratorio de UNI-CAFE, y se obtuvieron buenos resultados.

El compost producido se utiliza en los viveros municipales, donde se cultivan plantas de diversas especies, con las cuales se está reforestando los cerros aledaños y ornamentando la ciudad. Así mismo el compost se comercializa con algunos organismos y amas de casa, lentamente, debido principalmente al desconocimiento por parte de la población.

En la misma ciudad de Matagalpa, el organismo conocido como UNI-CAFE, en su laboratorio ubicado a 5 Km. de la ciudad sobre la carretera a El Tuma, está elaborando compost utilizando cascarilla de café y estiércol de ganado, que se emplea como sustrato para alimentar una especie de lombrices importadas de Baja California (lombriz roja californiana), de cuyo proceso se obtiene un producto de alto contenido de nutrientes llamado *humus* o *abono orgánico*, que se distribuye a los productores de café y se les enseña la técnica de la reproducción de lombrices, con el fin de aplicarlas en sus propias fincas.

La técnica de la lombricultura actualmente en Nicaragua está teniendo mucho auge en algunas zonas del Pacífico, además del Norte.

En el centro experimental del Valle de Sébaco, mejoran los suelos esparciendo directamente en los terrenos cultivables cascarilla de arroz, rastrojos de maíz, estiércol de ganado y algunas leguminosas como mucuna (frijol terciopelo) y dilichos. Esta técnica denominada "abono verde" se aplica en países como China y se llevan datos sobre la productividad de los cultivos en parcelas experimentales.

Actualmente en los llamados "pueblos blancos" que son Niquinohomo, Nandasmo, Catarina y Diriá, existen pequeños proyectos de compostado manual manejados por cooperativas de mujeres e impulsados por algunos organismos europeos. Asimismo, en la ciudad de Chinandega existen algunas experiencias, también cabe mencionar la producción de compost en Boaco, dentro del proyecto de *campesino a campesino*.

En la ciudad de León, en el barrio 23 de Julio, está funcionando un proyecto de producción de compost con tratamiento aeróbico, se han realizado análisis de laboratorio del compost. El proyecto contempla la recolección de los desechos orgánicos de 700 familias, se deberán producir y comercializar por el orden de

6000 quintales anuales para que el proyecto sea sostenible. El citado proyecto es manejado por el organismo PRODE MUJER con la cooperación de otro organismo llamado Agenda Local XXI.

En el presente año sobre la base de la investigación *El compostado manual aeróbico de desechos sólidos municipales con pulpa de café*, ejecutada por la autora en 1996, en la ciudad de Jinotepe se construyó recientemente una planta de compostado manual aeróbico, donde se procesarán los desechos orgánicos del casco urbano de la ciudad.

Anexo 7. Propuesta Metodológica de Educación Ambiental en Manejo discriminado de desechos sólidos

Ing. Sandra Moreno Ayestas M. Sc.
Profesora titular-Investigadora. UNI
E.mail smoreno@ibw.com.ni

I INTRODUCCIÓN

Hoy en día predomina a nivel internacional y nacional la discusión acerca de la protección del medio ambiente, entonces, es obligación de todos eliminar o por lo menos mitigar el impacto ambiental negativo que produce cualquier actividad humana. En ese sentido, la excesiva generación de desechos sólidos plantea un problema que ocupa un lugar preponderante, por lo que se le ha denominado la **tercera contaminación**.

Esta problemática debe abordarse tomando en cuenta que es una responsabilidad compartida tanto de productores, como de consumidores y no solamente de los entes encargados de la recolección, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos. En otras palabras, los productores deben asumir la responsabilidad de fabricar productos durables, de múltiple uso y fácilmente reparables, los consumidores deben exigir eso, y además evitar el consumo exagerado y los productos excesivamente empacados.

En tal sentido, la experiencia arroja mucha luz para tratar el problema de fondo, convencidos de que no sólo se trata de resolver el problema de la recolección, si no también el de tratamiento y disposición final de los desechos. Sin embargo, para lograr esto es necesario la reeducación en todos los niveles.

Obviamente el mecanismo tradicional para lograr cambios de actitud en los individuos es la educación. Por tanto es necesario **educar** para atacar el problema desde la fuente, es decir desde la generación en la casa, el comercio, la industria, etc., mediante su **evitación y manejo discriminado**, concientes de que la economía moderna de la recirculación de los desechos demuestra que éstos poseen un valor económico que se puede aprovechar.

Por tanto, se deben establecer las acciones y políticas necesarias que permitan **un cambio de actitudes hacia el manejo de los desechos sólidos**, ya que muchas veces lo que existe es desconocimiento y no falta de sensibilización. En ese sentido la educación ambiental juega un rol importante en la gestión, no obstante, se debe tener en cuenta que la educación es un proceso, que no es posible alcanzar de la noche a la mañana.

Las experiencias educativas en proyectos de manejo de desechos sólidos municipales en Nicaragua se vienen impulsando aproximadamente desde 1992 a partir de las primeras investigaciones realizadas en la Universidad Nacional de Ingeniería a través del departamento de Biomasa – Empresa “Sucher & Holzer”

con la cooperación austríaca, en el Proyecto *Tratamiento de desechos sólidos mercado y ciudad de Masaya*, el cual se llevó a cabo en coordinación con la Alcaldía de Masaya.

Sin embargo anterior a éste, en 1984, hubo un proyecto educativo puntual en la Colonia Centroamérica, desarrollado por el movimiento comunal con la cooperación alemana, donde se educó a la población de 400 viviendas de la colonia para la separación de los desechos orgánicos domésticos.

El centro de Investigación y Promoción del Habitar – HABITAR, ONG de Managua, realizó un ciclo de tres talleres sobre manejo, aprovechamiento y disposición final de los desechos sólidos en 1995 y 1996 en varios barrios de los Distritos V y VI. En Noviembre de 1996 el Proyecto de Descentralización y Desarrollo Municipal PADCO – USAID, realizó el estudio *Recolección y disposición final de la basura ciudad Darío*. Dicho proyecto contó con una propuesta de educación ambiental.

En Noviembre de 1997 el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales-MARENA, elaboró un excelente documento denominado *Proyecto Piloto de educación ambiental desechos sólidos, municipio de Diriá, Diriomo y Nandaime*, principalmente para estudiantes de primaria.

En Marzo de 1998 el Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal INIFOM, impulsó el proyecto *Fortalecimiento del proyecto manejo integral de desechos sólidos (PROMIDS PILOTO) : Niquinohomo, San Juan de Oriente y Nandasmo*. El proyecto cuenta con un componente de educación ambiental, cuya estrategia metodológica es la educación no formal.

En la ciudad de Jinotepe desde finales de 1998 a la fecha, con la presente metodología la autora viene impulsando una campaña de educación ambiental en gestión y manejo discriminado de desechos sólidos, como un componente del *Proyecto piloto compost y relleno sanitario, Jinotepe*, la cual está teniendo mucho éxito.

La Alcaldía de Managua en Junio de 1997 a través de la ONG, CEPRODEL realizó el *Estudio de factibilidad para la formación de dos microempresas de recolección de desechos sólidos en el Distrito I*, en cuyo documento se contempla una propuesta de educación ambiental que se basa más que todo en una campaña publicitaria.

Así mismo desde Marzo de 1998, se viene impulsando en varios barrios del Distrito VI, el proyecto *Barramos con la basura, proyecto de microempresas de gestión ambiental*.

Se puede apreciar que pese a que se han hecho esfuerzos en materia educativa referente al manejo de los desechos sólidos municipales, no se ha logrado mucho, debido a que no ha existido continuidad, ni sincronización con otras acciones para que sean efectivos, es decir no existe una **Política de la gestión integrada del manejo de desechos sólidos en la praxis**. Además el material didáctico utilizado, en la mayoría de los casos, carece de la seriedad que se le debe dar al tema.

El presente artículo presenta un resumen de la *Propuesta metodológica de educación ambiental para el manejo discriminado de los desechos sólidos*, basada en el **Modelo Pedagógico Regional**, con el propósito de que sea un insumo que sirva no sólo para la educación de la población, sino para las autoridades locales y nacionales.

II OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Convencer acerca de la gestión del manejo discriminado de los desechos sólidos, como forma de reducir la generación de desechos sólidos desde la fuente, mediante su evitación y aprovechamiento.

2.2 Objetivos Específicos

- Capacitar mediante talleres a cierta cantidad de maestros y estudiantes de secundaria de cuarto y quinto año y a las Brigadas ecológicas, para la realización de visitas casa por casa en el Municipio.
- Instruir acerca de la separación de los desechos orgánicos e inorgánicos desde su origen, para su aprovechamiento en la elaboración de compost en su propio patio y el acopio para el reciclaje de papel y cartón, latas, plástico y vidrio.
- Orientar como almacenarlos y depositarlos en el lugar adecuado.
- Informar los días de recolección de los desechos, hasta su traslado al lugar de tratamiento, disposición final o centro de acopio.
- Sensibilizar a la población sobre la importancia de pagar el servicio de recolección y disposición final.
- Proveer información técnica sobre el manejo integral de los desechos sólidos, a través de capacitaciones sistemáticas a grupos específicos con el fin de sensibilizarlos y convertirlos en multiplicadores, principalmente a los medios de comunicación.

III Marco Conceptual

3.1 Ejes Fundamentales

La formación ambiental cuestiona los métodos de enseñanza tradicionales, planteando nuevos retos pedagógicos para la transmisión del saber ambiental, es decir no sólo teórico sino vinculado a la práctica e involucrando a todos los actores sociales. Por tanto se propone un programa de educación ambiental con dos ejes fundamentales:

- *Participación ciudadana*, entendiéndose ésta como la integración activa de todos los actores.
- *Salud ambiental*, orientado hacia un buen manejo de los desechos sólidos, para elevar la calidad de vida, de tal forma que se vaya aproximando paulatinamente a la consecución del *desarrollo sostenible*, modelo que se desea alcanzar.

3.2 Enfoques Principales

- **Enfoque Participativo**

La propuesta pedagógica de la campaña tiene un enfoque participativo, es decir un protagonismo total por parte de la población, que sienta la responsabilidad propia de un cambio de actitudes en el manejo de los desechos sólidos conjuntamente con sus vecinos, para mejorar su entorno y su calidad de vida. Parafraseando a un sacerdote Jesuita *lo contrario de la pobreza no es la abundancia, es el valor*.

- **Enfoque de Género**

El concepto de género que se pretende inculcar es con respecto a la características sociales que define una sociedad determinada para normar el comportamiento, aptitudes, roles y funciones de mujeres y hombres y la forma como ellos deben relacionarse o interactuar. Debe quedar claro en la mente de las personas que la responsabilidad debe ser compartida o sea *desde la cuna a la tumba*, por lo que es necesario crear métodos apropiados para enseñar las relaciones de género, de manera que el proceso de cambio se facilite en el grupo, en el colectivo, sin importar si es hombre o si es mujer, si es niña o es niño, cada uno dando su aporte según sus aptitudes y capacidades, para lograr la sostenibilidad de un ambiente sano, manejando los desechos imitando a la naturaleza.

- **Enfoque de Sostenibilidad**

El desarrollo sostenible plantea la satisfacción de las necesidades del presente sin menoscabo de comprometer y endeudar el futuro. Es decir satisfacer las necesidades buscando soluciones ecológicamente viables, por lo que la educación ambiental juega un papel vital, debido a que es lo que permitirá transmitir los conocimientos necesarios y suficientes, la técnica y los métodos para el manejo de los desechos, tratando de que sean asequibles y accesibles, con el fin de garantizar la comprensión de los temas para que se puedan aplicar y poder ir sentando las bases para la continuidad que implica la sostenibilidad en el aprovechamiento y manejo de desechos sólidos.

3.3 Concepto del Modelo pedagógico regional para la gestión del manejo discriminado de desechos sólidos.

El modelo es producto de un esfuerzo continuado que viene realizando la Red Centroamericana de Desechos Sólidos, desde su fundación en Alemania en Diciembre de 1996, cuyos miembros son catedráticos de diferentes universidades centroamericanas, funcionarios de municipalidades, ministerios de educación, del medio ambiente y de salud, de ONG's y movimientos comunitarios.

El trabajo se ha venido consolidando mediante talleres, reuniones, intercambios de correspondencia y se elaboró sobre la base de investigaciones de modelos educativos en la gestión y manejo de desechos sólidos en cada país centroamericano, hasta culminar en el modelo que es una propuesta pedagógica que sirva como un instrumento para el cambio de actitudes en los ciudadanos y que promueva el conocimiento de las implicaciones del sistema actual de manejo de desechos sólidos, promoviendo un sistema de evitación, manejo discriminado y aprovechamiento de los mismos.

Este modelo plantea el concepto:

La *evitación* como una forma de reducir el problema de la disposición final.

Se fundamenta en los cuatro objetivos generales que manda la Agenda 21 en relación a los desechos sólidos y que son los siguientes :

- a. Reducir al mínimo los desechos.
- b. Aumentar al máximo la reutilización y el reciclado ecológicamente racionales de los desechos.
- c. Promover la eliminación y tratamiento ecológicamente racional de los desechos.
- d. Ampliar el alcance de los servicios que se ocupen de los desechos.

Así mismo promueve principios y valores para lograr un cambio de actitudes en los individuos en el manejo de desechos sólidos y el desarrollo sostenible, por ejemplo: Respeto, honestidad, tolerancia, austeridad, responsabilidad, participación, solidaridad, autoestima y creatividad.

3.4 Material Didáctico

El material didáctico a utilizar en la campaña será en dos niveles:

- Capacitadores

Para los capacitadores que serán maestros y estudiantes, se utilizará el mismo material que propone el modelo pedagógico a nivel centroamericano, que fue diseñado por el Programa Promoción del Saneamiento Ambiental en la Comunidad (PROSAC-ACEPESA), Proyecto de Fortalecimiento de la Autogestión Comunitaria (PROFAC) y el Ministerio de Salud, de Costa Rica.

El citado material deberá adecuarse a las características propias de cada municipio. Consta de cinco folletos ilustrados empastados a colores y páginas interiores a dos colores, en ellos se aborda la problemática integral del manejo y aprovechamiento de los desechos sólidos, cuyos contenidos son:

No. 1 : Qué son los desechos sólidos?

Lo que todos producimos y no se aprovecha.

No.2 : En qué consiste el servicio de aseo público?

Más complejo de lo que parece.

No.3 : Cómo aprovechar los desechos sólidos?

El manejo integral de los desechos sólidos

No.4 : Cómo diagnosticar y organizar a la comunidad?

La solución está en nuestra manos.

No. 5 : La empresa de manejo de desechos sólidos.

Medir bien la camisa.

- **Población**

El material didáctico para los pobladores serán dos volantes con información muy sencilla acerca de la composición de los desechos sólidos y su forma de almacenarlos discriminadamente, para su aprovechamiento.

Además una hoja tipo encuesta, cuyo contenido estará orientado hacia el cambio de actitudes, por medio de los principios y valores en el manejo de desechos sólidos y desarrollo sostenible, donde se sensibilize a los pobladores para pagar el servicio de recolección y se les pregunte la forma que más les convendría hacerlo, también solicitarles información acerca del turno que les parece mejor para la recolección.

IV. Metodología

La estrategia de la campaña será la capacitación en dos niveles:

- **Nivel de educación formal.**

Se sensibilizará y capacitará, mediante conferencias, talleres y visitas de campo a los directores y maestros de escuelas secundarias, con el fin de encontrar los mecanismos que permitan insertar esta propuesta dentro de la educación formal como una iniciativa desde la base. Además se solicitará colaboración de los maestros en la capacitación de los estudiantes de III, IV y V año de secundaria y las brigadas ecológicas para que realicen las visitas casa por casa, utilizando las sesenta horas de prácticas ecológicas orientadas por el MED.

- **Nivel de educación informal**

Este se desarrollará mediante conferencias, talleres, visitas de campo a los funcionarios de las alcaldías y otros sectores, utilizando métodos sencillos muy asequibles para la población con el fin de garantizar la comprensión de los temas a tratar.

La experiencia que se tiene a nivel centroamericano, es que la campaña debe ser dirigida y ejecutada simultáneamente con la ejecución del proyecto, para que realmente surta efecto. Además, deben revisarse los contenidos de otras campañas.

V RECOMENDACIONES

En forma particular la consultora recomienda se eleve esta propuesta a autoridades superiores del MECD, con el fin de que sea evaluada y pueda insertarse en la educación formal, para poder implementar un contenido programático con los valores y principios de la propuesta, que garantice un cambio de actitudes para el manejo y gestión de los desechos sólidos de forma permanente.

ANEXO 8. Fotos campaña de educación ambiental



Instituto Juan José Rodríguez



Instituto Manuel Hernández Martínez



Colegio Salesiano San José



Academia Santa María



Escuela Normal Ricardo Morales Avilés



Instituto Politécnico de Jinotepe



Estudiantes y Operarios



Estudiantes, operarios y funcionarios



Productores Dpto. de Carazo



Emblema y lema de la campaña de educación ambiental